

Joonas Pesonen

MAAMASSOJEN TILAVUUKSIEN MITTAUSMENETELMÄN KE- HITTÄMINEN RTK-DRONEKUVAUSTA KÄYTTÄEN

MAAMASSOJEN TILAVUUKSIEN MITTAUSMENETELMÄN KE- HITTÄMINEN RTK-DRONEKUVAUSTA KÄYTTÄEN

Joonas Pesonen
Opinnäytetyö
Syksy 2019
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Yhdyskuntatekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakentamistekniikan tutkinto-ohjelma, Yhdyskuntatekniikka

Tekijä(t): Joonas Pesonen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Maamassojen tilavuuksien mittausmenetelmän kehittäminen RTK-dronekuvausta käyttäen

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Improving volume calculation of land masses using RTK drone footage

Työn ohjaaja(t): Jarmo Erho

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2019

Sivumäärä: 37 + 6 liitettä

Infran rakentamis- ja puhdistuskohteissa syntyy erilaisia maamassoja, joita olisi mahdollista kierrättää käytettäväksi muissa kohteissa. Maamassojen tilavuuksien määrittämiseen tarvitaan mittausmenetelmä, joka mahdollistaa nopean ja tarkan mittauksen maastossa logistiikan optimoimiseksi.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää RTK-dronen ja perinteisen dronen tarkkuusero maamassoja mitatessa. Lisäksi tavoitteena on koko prosessin raportointi, jotta opinnäytetyötä voi käyttää apuna maamassojen tilavuuksien määrittämisessä.

Opinnäytetyössä kuvattiin maa-ainesten ottoalue RTK-dronella ja perinteisellä dronella. Kuvatulla alueella sijaitsee kaksi maamassakasaa, joiden tilavuudet selvitettiin. Kuvista luotiin tiheät pistepilvet fotogrammetrian avulla Agisoft Metashape professional -ohjelmalla. Tiheistä pistepilvistä rajattiin tarkasti kaksi maamassakasaa samalla tavalla, jotta niiden tilavuuksia voitiin verrata. Tiheistä pistepilvistä laskettiin maamassakasojen tilavuudet Autodesk Civil 3D -ohjelmalla.

Lopulta saatiin kahdesta eri maamassakasasta kaksi tulosta ja tuloksia verrattiin toisiinsa. Opinnäytetyössä kerrotaan yksityiskohtaisesti käytettyjen ohjelmistojen käyttövaiheet, jotta kuvausaineistojen käsittely on mahdollista toistaa työssä esitellyn ohjeistuksen pohjalta.

Opinnäytetyössä todettiin, että RTK-dronella tehdyn mittauksen tulokset ovat 19 prosenttia suuremmat verrattuna perinteisellä dronella tehtyyn mittaukseen. Nämä tulokset perustuvat kahteen kuvauskertaan. Toistokertoja lisäämällä on mahdollista tarkentaa tuloksia ja parantaa luotettavuutta.

Asiasanat: RTK, Fotogrammetria, mallintaminen, pistepilvi, tilavuuslaskenta

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Option of Municipal Engineering

Author(s): Joonas Pesonen
Title of thesis: Improving Volume Calculation of Land Masses Using RTK-Drone Footage
Supervisor(s): Jarmo Erho
Term and year when the thesis was submitted: Fall 2019
Pages: 37 + 6 appendices

This thesis compares the accuracy of RTK-drone with traditional drone. Drones enable aerial photographing which can be used to calculate volumes of large landmass by photogrammetry. The objective is to find out accuracy difference of RTK-drones and traditional drones in volumes. The process is also recorded so that the thesis can be used as a guideline in calculating volumes of landmasses.

RTK- and traditional drone footage was acquired from a land material extraction site. The volumes of two land mass piles were calculated from this site. The footage was processed, in Agisoft Metashape Professional program, using photogrammetry to create two dense point clouds. The selected two land mass piles were extracted from the dense point clouds. The volumes of land mass piles were then calculated in Autodesk Civil 3D program. After that, the volumes were compared to each other and the results are presented in cubic meters and percentages. The thesis records the workflow of programs so that the process can be repeated.

The results of RTK-drone are 19 percent greater than results of traditional drone. This result is based on two surveys. Increasing the survey numbers will give more reliable results.

Keywords: RTK, Photogrammetry, Modeling, point cloud, volume calculation

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 KÄYTETYT LAITTEISTOT JA OHJELMAT	8
2.1 DJI Phantom 4 Pro	8
2.2 DJI Phantom 4 RTK	9
2.3 D-RTK 2 liikkuva korkeatarkkuus GNSS-asema	10
2.4 Agisoft Metashape Professional	11
2.5 Autodesk Civil 3D	11
2.6 Autodesk Recap	11
3 ALUEEN KUVAAMINEN JA OHJAUSPISTEIDEN MÄÄRITTÄMINEN	13
3.1 Dronen lennättämisessä huomioitavat asiat	13
3.2 Ohjauspisteiden eli GCP:n asentaminen	13
3.3 DJI Phantom 4 RTK -dronen lennättäminen	14
3.4 DJI Phantom 4 PRO -dronen lennättäminen	15
4 TILAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN DRONEILLA OTETUISTA KUVISTA	17
4.1 Tiheän pistepilvien luonti Agisoft Metashape Pro ohjelmalla	17
4.1.1 Kuvan ottopaikan tarkka sijainti	17
4.1.2 Kuvien lisääminen	19
4.1.3 Kameroiden kalibroinnin tarkistaminen	20
4.1.4 Harvanpistepilven luominen	20
4.1.5 Merkkien eli GCP:ien lisääminen	21
4.1.6 Ohjauspisteiden koordinaattien lisääminen	23
4.1.7 Kameroiden kohdistuksen optimoiminen	24
4.1.8 Rajoituslaatikon määrittäminen	25
4.1.9 Tiheän pistepilven rakentaminen	25
4.1.10 Tiheän pistepilven vienti toisiin ohjelmiin	26
4.2 Tiheän pistepilven rajaaminen Autodesk Recap 360 -ohjelmassa	27
4.2.1 Tiheän pistepilven tuonti Autodesk Recap 360 -ohjelmaan	27

4.2.2 Tiheän pistepilven rajaaminen	28
4.2.3 Tiedoston vienti muihin ohjelmiin	29
4.3 Tilavuuksien laskeminen tiheästä pistepilvestä Autodesk Civil 3D -ohjelmalla	30
4.3.1 Tiheän pistepilven tuominen Autodesk Civil 3D -ohjelmaan	30
4.3.2 Pinnan luonti pistepilvestä	31
4.3.3 Pohjan luominen	34
4.3.4 Tilavuuden laskeminen	36
5 TARKKUUKSIEN VERTAILU	39
6 YHTEENVETO	40
LÄHTEET	41
LIITTEET	44

1 JOHDANTO

Infran rakentamis- ja puhdistuskohteissa syntyy erilaisia maamassoja, joita olisi mahdollista kierrättää käytettäväksi muissa kohteissa. Maamassojen tilavuuksien määrittämisen avuksi markkinoille on tullut käyttöön erilaisia droneja, joiden avulla isot maamassakaset pystytään kuvaamaan ja kuvista voidaan selvittää kasan tilavuus. Perinteisten dronejen käytössä dronen tarkkaa sijaintia ei tiedetä, mikä lisää tuloksen epävarmuutta. RTK-dronet mahdollista tavat tarkan sijaintitiedon tallentamisen kuvashetkellä, minkä pitäisi lisätä tilavuuden laskennan tarkkuutta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää RTK-dronen käyttämisen hyötyä verrattuna perinteiseen dronekuvaamiseen maamassojen tilavuuksien laskemisessa. Lisäksi opinnäytetyössä kuvataan ja kerrotaan tarkasti eri ohjelmilla tehdyt toimenpiteet, jotta opinnäytetyötä voi käyttää apuna vastaavanlaisissa töissä.

Työssä kuvataan maamassa RTK-dronella ja verrataan sen tarkkuutta perinteiseen dronekuvaamiseen. Droneilla otetuista kuvista luodaan tiheät pistepilvet käyttäen Agisoft Metashape Professional -ohjelmaa ja mallien avulla lasketaan maamassan tilavuus Autodesk Civil 3D -ohjelmalla. Tilavuuksia verrataan ja tulokset ilmoitetaan kuutiometreissä sekä prosenteissa.

Työn on tilannut Ramboll Finland Oy, joka on kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointiyritys. Yrityksen yhteyshenkilönä toimii Hannu-Pekka Kämäräinen, joka toimi lentäjänä ilmakuvauksissa.

2 KÄYTETYT LAITTEISTOT JA OHJELMAT

Opinnäytetyössä käytetään kahta eri dronea, DJI Phantom 4 Pro:ta ja DJI Phantom 4 RTK:ta. DJI Phantom 4 RTK -dronen käyttö vaatii D-RTK 2 liikkuvan korkea tarkkuus GNSS-aseman, joka mahdollistaa RTK-mittaus tarkkuuden. Lisäksi käytetään Agisoft Metashape professional-, Autodesk Recap- sekä Autodesk Civil 3D -ohjelmia.

2.1 DJI Phantom 4 Pro

DJI Phantom 4 pro -drone on DJI:n valmistama drone (kuva 1). Sen kamera on varustettu yhden tuuman 20 megapixelisellä CMOS-sensorilla, joka mahdollistaa tarkkojen kuvien ottamisen ilmast. Dronen 5 870 mAh:n akku mahdollistaa noin 30 minuutin lentoajan ja sillä voi lentää 10 m/s tuulella 5 – 40 °C:n lämpötiloissa. Drone käyttää gps/glonass -satelliittipaikannussysteemiä, jonka avulla sen leijuntatarkkuus on pystysuunnassa $\pm 0,5$ metriä ja vaakasuunnassa $\pm 1,5$ metriä. (Phantom 4 PRO. 2019a.) Laitteen tekniset tiedot löytyvät liitteestä 1.



KUVA 1. DJI Phantom 4 PRO (Järveläinen 2019)

2.2 DJI Phantom 4 RTK

DJI Phantom 4 RTK -drone (kuva 2) on pitkälti sama drone kuin DJI Phantom 4 Pro. DJI Phantom 4 RTK -dronen kamera on varustettu yhden tuuman, 20 megapikselisellä CMOS-sensorilla, joka mahdollistaa tarkkojen kuvien ottamisen ilmasta. Dronen 5 870 mAh:n akku mahdollistaa noin 30 minuutin lentoajan ja sillä voi lentää 10 m/s:ssä tuulessa 5 – 40 °C:n lämpötiloissa. Drone käyttää gps/glonass -satelliittipaikannussysteemiä, jonka avulla sen leijuntatarkkuus on pystysuunnassa $\pm 0,5$ metriä ja vaakasuunnassa $\pm 1,5$ metriä. (Phantom 4 RTK. 2019a.)

DJI Phantom 4 RTK -drone on lisäksi varustettu RTK-moduulilla, joka mahdollistaa senttimetritarkkuudella sen paikannuksen. Tämän avulla saadaan selville dronen ottamien kuvien tarkka sijainti. Tähän tarkkuuteen päästään käyttämällä D-RTK 2 -mobiiliasemaa, joka tuottaa differentiaalidataa. (Phantom 4 RTK. 2019b.) Laitteen tekniset tiedot löytyvät liitteestä 2.



KUVA 2. DJI Phantom 4 RTK (Järveläinen 2019)

2.3 D-RTK 2 liikkuva korkeatarkkuus GNSS-asema

D-RTK 2 Mobile Station on DJI:n valmistama GNSS vastaanotin, joka mahdollistaa senttimetritarkkuuden RTK-mittauksissa. Se pystyy toimimaan -20 - +55 °C:n lämpötilassa ja yhtäjaksoinen käyttöaika on 2 - 50 tuntia akusta riippuen. (D-RTK 2 High Precision GNSS Mobile Station. 2019.) Laitteen tekniset tiedot löytyvät liitteestä 3.

D-RTK 2 liikkuva korkeatarkkuus GNSS -asemaa käytettiin opinnäytetyössä mahdollistamaan DJI Phantom 4 RTK -dronen RTK-paikannus. Asema näkyy kuvassa 3 maastoon asennettuna.



2.4 Agisoft Metashape Professional

Agisoft Metashape Professional -ohjelma on digitaalisten kuvien fotogrammetrinen prosessointi ohjelma. Sillä voidaan tuottaa kolmiulotteisia paikkatietoja erilaisia sovelluksia varten. (Metashape – photogrammetric processing og digital images and 3D spatial data generation. 2019.)

Agisoft Metashape Professional -ohjelma mahdollistaa fotogrametrinen kolmiomittauksen ja 3D-mallin, tiheän pistepilven (dense point cloud), digitaalisen korkeus mallin (DEM), georeferoidun ortomosaikin (orthomosaic) luomisen, muokkaamisen ja viennin (export). Agisoft Metashape Professional -ohjelmalla pystyy mittaamaan etäisyyksiä, alueita ja tilavuuksia. Mallia kuvattaessa maahan laitettavien ohjauspisteiden (GCP) avulla malleista saadaan tarkkoja. (Features. 2019.) Ohjelman laitteistovaatimukset löytyvät liitteessä 4.

Agisoft Metashape Professional -ohjelmalla luodaan droneilla otetuista kuvista tiheä pistepilvi.

2.5 Autodesk Civil 3D

Autodesk Civil 3D -ohjelma on yhdyskuntasuunnittelu- ja dokumentointiohjelmisto. Se tukee BIM-järjestelmää (Building Information Modeling) ja erilaisia yhdyskuntarakentamisen projekteja. (Yhdyskuntasuunnittelu- ja dokumentointiohjelmisto. 2019.) Ohjelman laitteistovaatimukset löytyvät liitteessä 5.

Autodesk Civil 3D -ohjelmaa käytetään opinnäytetyössä maamassojen tilavuuksien laskemiseksi.

2.6 Autodesk Recap

Autodesk Recap -ohjelma on 3D-mallintamisohjelma. Ohjelmalla pystyy luomaan 3D-malleja valokuvista ja laserskannauksista. Ohjelma mahdollistaa pistepilvien muokkaamisen, mittaamisen ja visualisoinnin. (Reality capture and 3D scanning

software for intelligent model creation. 2019.) Ohjelman laitteistovaatimukset löytyvät liitteessä 6.

Tässä opinnäytetyössä Autodesk Recap -ohjelmaa käytetään pistepilven muokkaamiseen ennen sen viemistä Autodesk Civil 3D -ohjelmaan.

3 ALUEEN KUVAAMINEN JA OHJAUSPISTEIDEN MÄÄRITTÄMINEN

Opinnäytetyötä varten kuvattiin maa-ainesten ottoalue kahdella eri dronella, DJI Phantom 4 RTK -dronella ja DJI Phantom 4 PRO -dronella. DJI Phantom 4 PRO -dronella alue kuvattiin perinteisesti ilman dronen tarkkaa paikkatietoa kuvissa. DJI Phantom 4 RTK -dronella alue kuvattiin tarkkojen paikkatietojen kanssa. Sen RTK-tekniikka mahdollisti dronen tarkan paikkatiedon kuvissa.

Luvussa 3 kerrotaan, mitä pitää huomioida, kun droneilla lennetään, ja käydään läpi ohjauspisteiden asentaminen maastoon. Lisäksi käydään läpi, miten droneilla lennetään ja millaisia ongelmia lentäessä ilmeni.

3.1 Dronen lennättämisessä huomioitavat asiat

Dronella lennettäessä on syytä kiinnittää huomiota turvallisuuteen. Dronen ohjaajalla tulee olla koko lennon ajan näköyhteys droneen eikä sillä saa lentää yli 150 metrin korkeudessa. Dronen lähtömassa ei saa ylittää 25 kilogrammaa ja siitä tulee käydä ilmi dronen käyttäjän nimi ja yhteystiedot. Sen kuuluu väistää kaikki ilma-aluksia, eikä siitä saa aiheutua vaaraa tai haittaa muille ihmisille tai heidän omaisuudelleen. Lisäksi dronella lentämistä on rajoitettu eri alueilla, kuten asutuskeskuksissa, ja joillakin alueilla lentäminen on kokonaan kielletty. (Ohjeita turvalliseen lentämiseen. 2019.)

3.2 Ohjauspisteiden eli GCP:n asentaminen

Ennen kuvaamista kuvausalueelle käydään merkitsemässä ja mittaamassa GCP:t (ground control points) RTK-mittauksella, joiden avulla kuvista saadaan luotua tarkat mallit Agisoft Metashape Professional -ohjelmassa. GCP:t ovat maahan merkattuja pisteitä, joiden tarkka paikka tiedetään. (Mehtälä 2012, 9.)

Opinnäytetyötä varten mitattiin 22 GCP:a RTK-mittauksella. GCP:t merkattiin maahan oranssilla rastilla, jotta ne on helppo löytää kuvista mallintaessa.

3.3 DJI Phantom 4 RTK -dronen lennättäminen

Ennen DJI Phantom 4 RTK -dronen lennättämistä tulee asentaa D-RTK 2 liikkuva korkeatarkkuus GNSS -asema, joka mahdollistaa dronen paikantamisen senttimetrin tarkkuudella. Tämän jälkeen yhdistetään D-RTK2 liikkuva korkeatarkkuus GNSS -asema, DJI Phantom 4 RTK -drone ja dronen ohjain toisiinsa ja varmistetaan, että DJI GS PRO -sovellus on käytössä. Lopuksi otetaan käyttöön RTK-toiminto DJI GS PRO -sovelluksessa. (D_RTK 2. 2019.)

Tämän jälkeen suunnitellaan lentosuunnitelma ohjainta käyttäen. Ensimmäiseksi merkitään kartoitettava alue näytöllä olevasta kartasta. Sitten säädetään lennon parametrejä, kuten lentokorkeutta, nopeutta ja päällekkäisyysuhdetta. Seuraavaksi määritetään kameran asetukset, minkä jälkeen tallennetaan asetukset ja tehtävä nimetään. Lopuksi painetaan invoke-painiketta ja käydään läpi huomautukset. (Phantom 4 RTK Photogrammetry Tutorial. 2019.)

Asetusten läpikäynnin jälkeen lento aloitetaan vetämällä palkki oikealle. Drone nousee automaattisesti ilmaan ja käy läpi lentosuunnitelman. Sen jälkeen drone palaa automaattisesti takaisin, jos näin on asetuksista määritetty. Mikäli dronen akku on loppumassa, lento voidaan keskeyttää manuaalisesti ja akku voidaan vaihtaa. Tämän jälkeen on mahdollista jatkaa aikaisempaa lentosuunnitelmaa. (Phantom 4 RTK Photogrammetry Tutorial. 2018.)

Maa-ainesten ottoalueella DJI Phantom 4 RTK -dronea lennettäessä dronen akku tuli vaihtaa kesken lennon. Drone jatkoi lentosuunnitelmaa akun vaihdon jälkeen oletetusti, mutta hetken päästä se ilmoitti, että lentosuunnitelma on toteutettu, vaikka se ei sitä todellisuudessa ollut tehnyt. Ongelma ratkaistiin luomalla uusi lentosuunnitelma puuttuvalle osalle alueesta ja tarvittava materiaali saatiin kerättyä. (Kuva 4.)



KUVA 4. DJI Phantom 4 RTK ilmassa (Järveläinen 2019)

3.4 DJI Phantom 4 PRO -dronen lennättäminen

Lentosuunnitelma tehdään DJI GS PRO -sovelluksella DJI Phantom 4 PRO -dronelle. Sovelluksessa merkitään karttaan kartoitettava alue, minkä jälkeen säädetään lentoparametrit halutuiksi. Tämän jälkeen valitaan kameran asetukset ja halutut asetukset määritetään ja tallennetaan ja tehtävä nimetään. Lopuksi lento aloitetaan ja drone lähtee kuvaamaan aluetta automaattisesti, joten dronea ei tarvitse itse ohjata lennon aikana (kuva 5). Lennon jälkeen drone palaa automaattisesti takaisin. (DJI GS PRO. 2019.)

Kun aineistoa kerättiin opinnäytetyötä varten, aineiston keräys toimi ilman ongelmia DJI Phantom 4 PRO -dronella yllä mainittuun tapaan.



KUVA 5. DJI Phantom 4 PRO ohjain, jonka näyttönä toimii Ipad (Järveläinen 2019)

4 TILAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN DRONEILLA OTETUISTA KUVISTA

Dronelennosta saadut kuvat, GCP:t ja DJI Phantom 4RTK -dronen paikkatiedot vietiin aluksi Agisoft Metashape Pro -ohjelmaan. Ohjelmalla dronien keräämistä kuvista luotiin kaksi eri tiheää pistepilveä. DJI Phantom 4 RTK -dronella kuvattujen kuvien datasta saatiin tietoon tarkka kuvanottoaikka. DJI Phantom 4 PRO -dronella kuvienottoaikan tarkkuus on paljon heikompi.

Agisoft Metashape Professional -ohjelmalla tehdyt tiheät pistepilvet vietiin Autodesk Recap 360 -ohjelmaan. Tässä ohjelmassa kummastakin pistepilvestä valittiin kaksi samaa maamassakasaa. Ohjelmalla pistepilvestä poistettiin muu tarpeeton osa ja kasoista luotiin omat tiheät pistepilvet. Lopuksi kaikki neljä tiheää pistepilveä vietiin Autodesk Civil 3D -ohjelmaan, jolla laskettiin tiheistä pistepilvestä maamassojen tilavuudet.

Luvussa 4.1 käydään läpi pistepilvien luominen Agisoft Metashape Pro -ohjelmalla. Luvussa 4.2 käydään läpi tiheiden pistepilvien muokkaaminen Autodesk Recap 360 -ohjelmassa ja luvussa 4.3 tehdään tilavuuksien laskeminen tiheistä pistepilvestä Autodesk Civil 3D -ohjelmalla. Lisäksi käydään läpi opinnäytetyötä tehdessä käyneitä ongelmia ja niiden ratkaisuja.

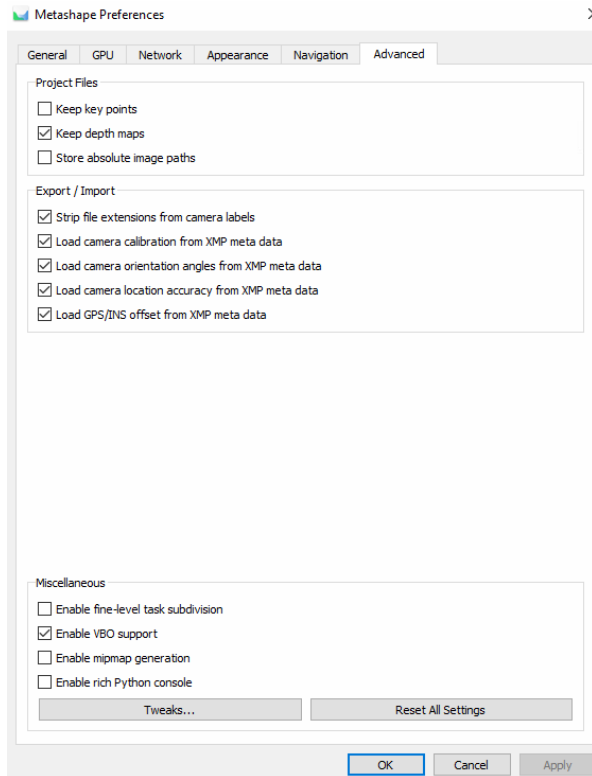
4.1 Tiheän pistepilvien luonti Agisoft Metashape Pro ohjelmalla

Agisoft Metashape Pro -ohjelmalla luodaan tiheä pistepilvi Droneilla otetuista kuvista fotogrammetrian avulla. Fotogrammetria mahdollistaa kolmiulotteisen mallin luomisen kaksiulotteisista kuvista vertaamalla kuvien koordinaatisto tietoja kolmiulotteisen mallin koordinaatteihin. (Mannila 2017, 4.)

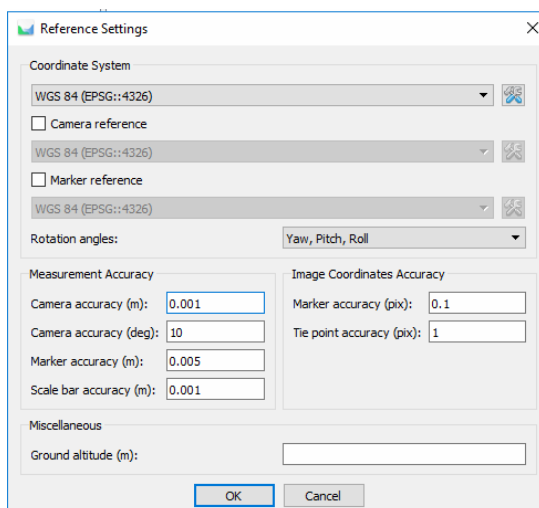
4.1.1 Kuvan ottopaikan tarkka sijainti

DJI Phantom 4 RTK -drone mahdollistaa sen tarkan sijainnin tallennuksen kuvaushetkellä. Jotta saadaan paikkatiedot käyttöön Agisoft Metashape Pro -ohjel-

massa, avataan Tools-valikon alta Prefereces dialog. Tämän jälkeen valitaan Advanced-paneeli ja mahdollistetaan Load camera orientation angles from XMP meta data, kuten kuvassa 6 on tehty.



KUVA 6. Prefereces dialog -asetukset, josta mahdollistetaan metadatan käyttö kuvista



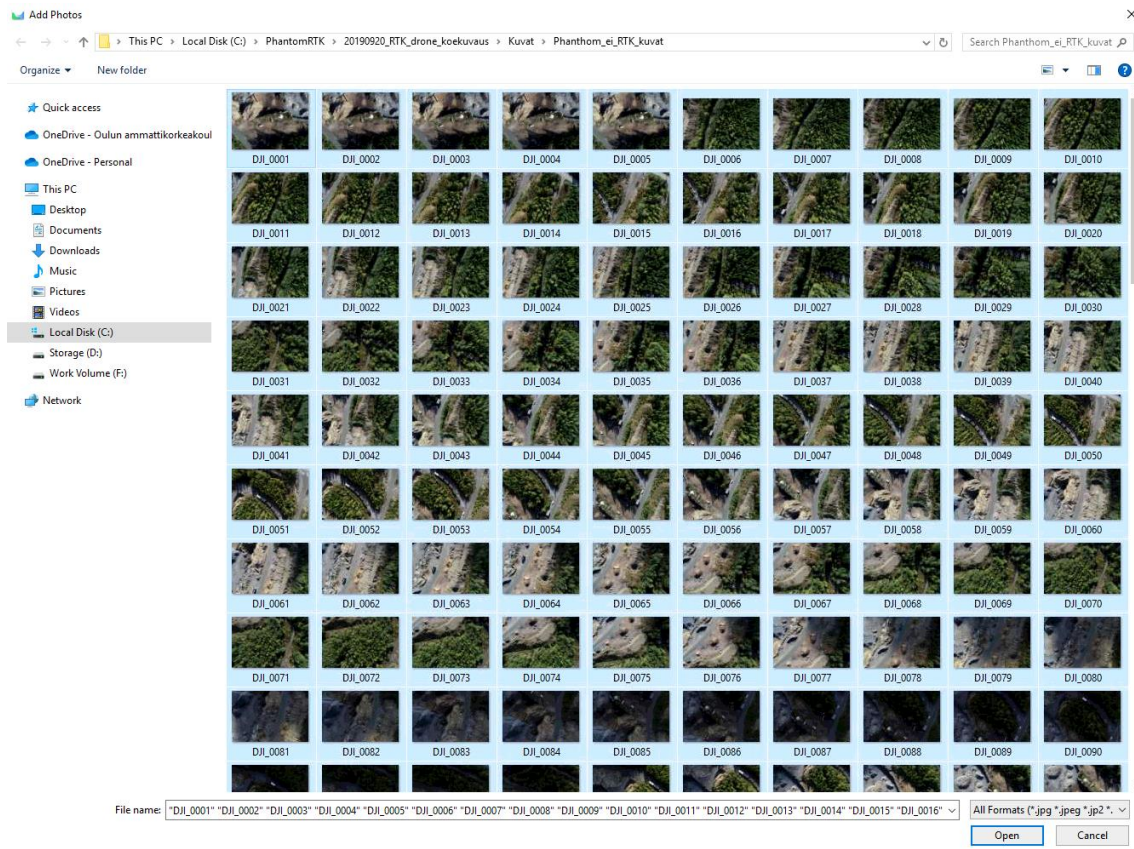
KUVA 7. Reference Settings -valikko, jossa valitaan koordinaattijärjestelmä ja määritetään kameroiden ja ohjauspisteiden tarkkuus

Tämän jälkeen avataan Reference Settings Reference-paneelistä ja määritetään kameran tarkkuus Camera accuracy (m): -kohdassa yhteen senttimetriin. Samalla säädetään Marker accuracy (m): -kohdassa arvo vastaamaan ohjauspisteiden (GCP) tarkkuutta. (Kuva 7.)

Opinnäytetyötä tehtäessä DJI Phantom 4 RTK -dronesta ja ohjauspisteistä saadut koordinaatit olivat WGS 84 + N2000 -koordinaattijärjestelmässä. Agisoft Metashape Professional -ohjelma ei kuitenkaan tue kyseistä koordinaattijärjestelmää. Siitä löytyy kuitenkin ETRS89/TM35FIN + N2000 -koordinaattijärjestelmä. Agisoft metashape Professional -ohjelma mahdollisti koordinaattien muuttamisen oikeiksi arvoiksi. Oikeista koordinaateista tehtiin tekstitiedostot (.txt), joilla saatiin osoitettua DJI Phantom 4 RTK -dronella otettujen kuvien kuvauspaikat ja ohjauspisteiden tarkat paikat.

4.1.2 Kuvien lisääminen

Kuvien lisäämiseksi valitaan Add Photos... Workflow -valikosta. Sitten valitaan mallintamiseen käytettävät kuvat ja painetaan Open. (Kuva 8.)



KUVA 8. Valitaan ohjelmassa käytettävät kuvat tiedostoista

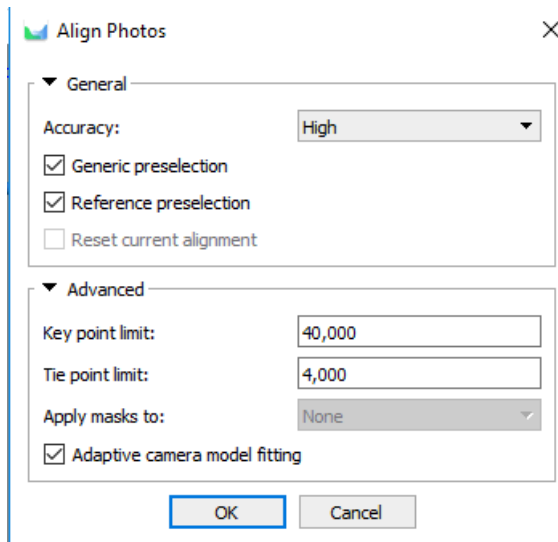
4.1.3 Kameroiden kalibroinnin tarkistaminen

Kameroiden kalibroinnin tarkistamiseksi valitaan Tools-valikko ja Camera Calibration window. Kameran kalibroinnin pitäisi olla jo oikea, koska se on ladattu kuvien metadatasta. Arvot on hyvä silti tarkistaa.

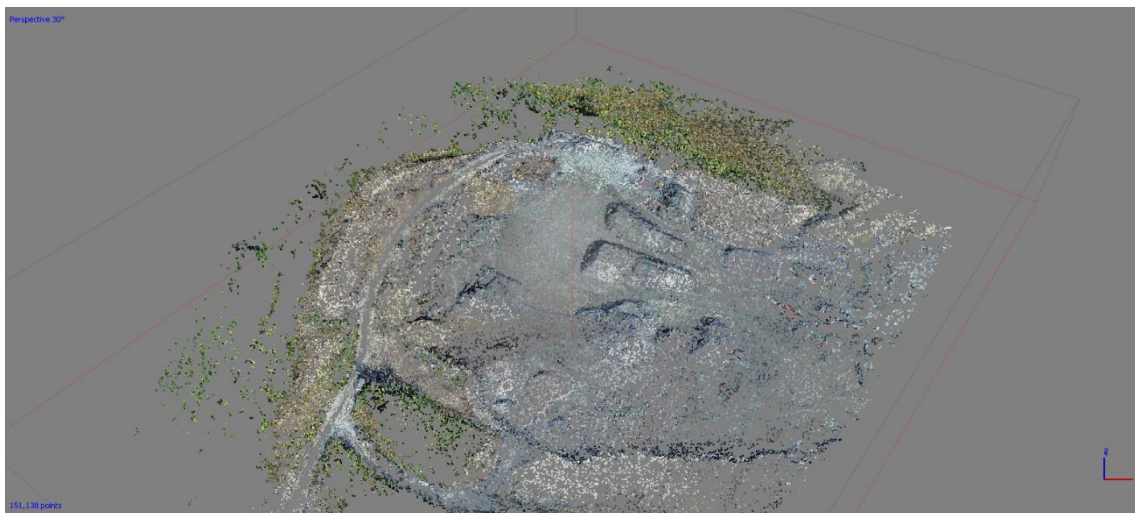
4.1.4 Harvanpistepilven luominen

Harvan pistepilven luomiseksi valitaan Align Photos Workflow -valikosta ja halutut arvot määrätään valikossa. Opinnäytetyössä käytettiin kuvassa 9 näkyviä arvoja. Lopuksi painetaan OK.

Ohjelma etsii yhteneviä kohtia kuvista, arvioi kameran paikan jokaiselle kuvalle ja luo harvan pistepilven. Tämän jälkeen voidaan tarkkailla harvaa pistepilveä Model view-ikkunassa (kuva 10).



KUVA 9. Align Photos valikko



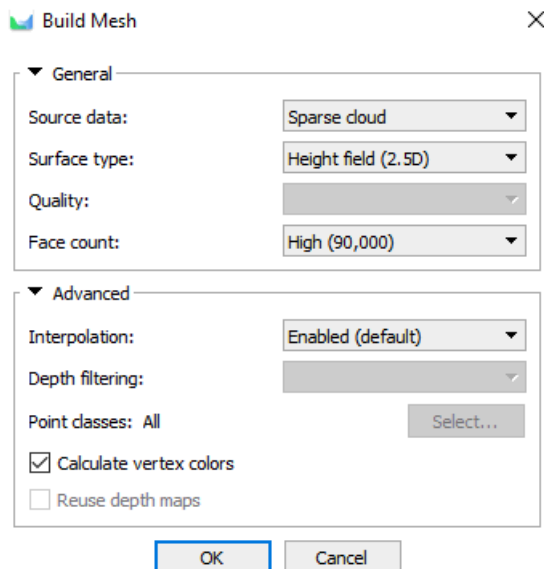
KUVA 10. Harva pistepilvi

4.1.5 Merkkien eli GCP:ien lisääminen

Merkkejä käytetään kameroiden paikan ja suuntaustietojen optimoimiseen. Tämä mahdollistaa tarkemman mallin luomisen.

Merkkien oikeiden paikkojen varmistamiseksi on hyvä luoda ensiksi verkkomalli (Mesh) harvasta pistepilvestä. Malli saadaan tehtyä valitsemalla Build Mesh -toiminto Workflow-valikosta. Mallista tulee vain suuntaa näyttävä, joten voidaan

käyttää oletusasetuksia huoletta. Opinnäytetyössä käytettiin kuvassa 11 käytettyjä arvoja.



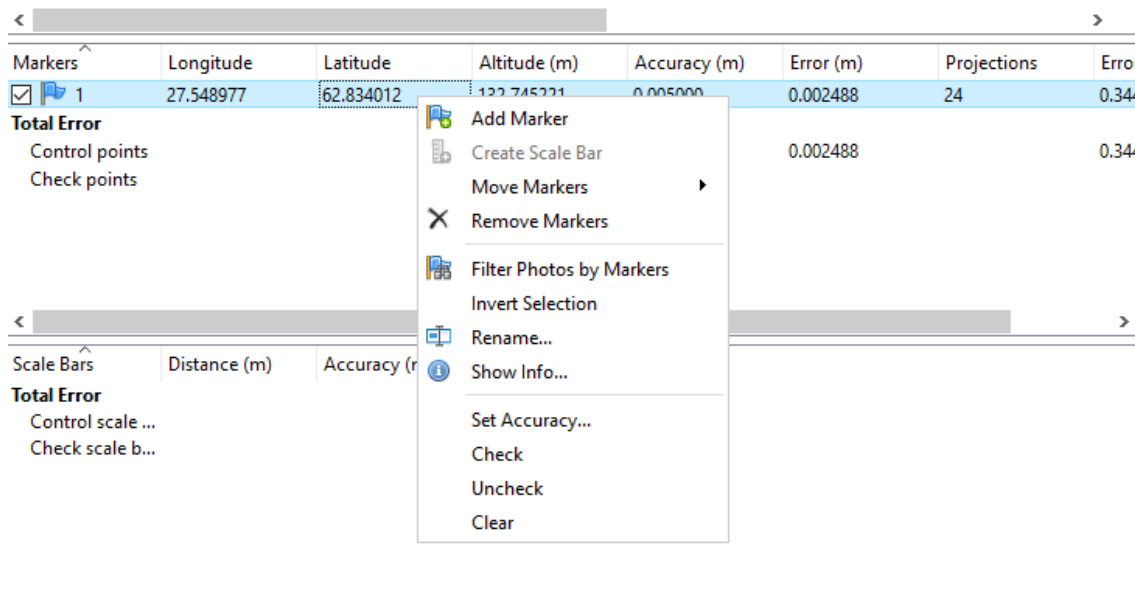
KUVA 11. Build Mesh -valikko

Tämän jälkeen avataan jokin kuva, jossa näkyy ohjauspiste (GCP), kaksoisklikkaamalla kuvan ikonin kuva paneelistä. Kuvaa on hyvä lähentää nyt ohjauspisteeseen. Sitten avataan valikko painamalla hiiren oikeaa näppäintä ohjauspisteen tarkassa kohdassa. Valikosta valitaan Create Marker -toiminto, joka luo hiiren osoittimen kohtaan merkin (kuva 12). Ohjelma nimeää merkin automaattisesti, joten on tarkistettava, että nimi vastaa ohjauspisteen nimeä.



KUVA 12. Merkkien eli GCP:ien asentaminen

Seuraavaksi valitaan juuri tehty merkki paneelista painamalla hiiren oikeaa näppäintä ja valitaan Filter Photos by Markers -toiminto (kuva 13). Ohjelma suodattaa kuvista saman ohjauspisteen sisältämät kuvat.



KUVA 13. Valitaan Filter Photos by Markers nähdäksesi kuvat, joissa on sama GCP

Tämän jälkeen käydään läpi jokainen kuva, joihin ohjelma on automaattisesti luonut merkin. Jos merkki on väärässä kohdassa, se korjataan vetämällä se hiirellä oikeaan kohtaan.

Tällä tavalla luodaan kaikkiin ohjauspisteisiin merkki. Apuna on hyvä käyttää verkkomallia. Siitä voidaan katsoa, missä kuvissa mikäkin ohjauspisteen kuulu olla, ja siitä voidaan samalla tarkistaa, laitettiinke oikea merkki oikeaan paikkaan.

4.1.6 Ohjauspisteiden koordinaattien lisääminen

Merkkien lisäämisen jälkeen määrätään niiden paikat mallissa. Import Reference -paneelista valitaan ohjauspisteiden koordinaatit sisältävän tiedoston. Tämän jälkeen avautuu valikko, josta valitaan aluksi oikea koordinaattisysteemi ja tiedostoa vastaava erotustapa. Sitten tarkistetaan, että koordinaattien arvot ovat oikein. Lopuksi valitaan OK. (Kuva 14.)

Import CSV

Coordinate System
ETRS89 / TM35FIN(E,N) (EPSG::3067)

Rotation angles: Yaw, Pitch, Roll

☐ Ignore labels Threshold (m): 0.1

Delimiter
☐ Tab
☐ Semicolon
☒ Comma
☐ Space
☐ Other:
☒ Combine consecutive delimiters

Columns
 Label: 1 ☐ Accuracy ☐ Rotation ☐ Accuracy
 Easting: 2 ☐ 6 Yaw: 5 ☐ 9
 Northing: 3 ☐ 6 Pitch: 6 ☐ 9
 Altitude: 4 ☐ 8 Roll: 7 ☐ 9
☐ Enabled flag: 5

Start import at row: 3 Items: Markers

First 20 lines preview:

Label	Easting	Northing	Altitude			
# Coordinat...	E) + N2000 heig...	PROJCS["ETRS8...	E)"	GEOGCS["ETRS...	DATUM["Europ...	SPHER
#Label	X/Easting	Y/Northing	Z/Altitude			
1	527963.906679	6967212.941676	131.823			
2	528049.483206	6967451.998810	124.559			
3	528009.859443	6967415.448841	124.180			
4	527981.910163	6967383.678553	124.240			
5	527962.120363	6967338.830547	124.333			
6	527947.925846	6967288.905036	124.524			
7	527972.154151	6967273.289971	124.408			
8	528020.745235	6967244.289912	124.401			
9	528074.820685	6967235.281604	124.500			

OK Cancel

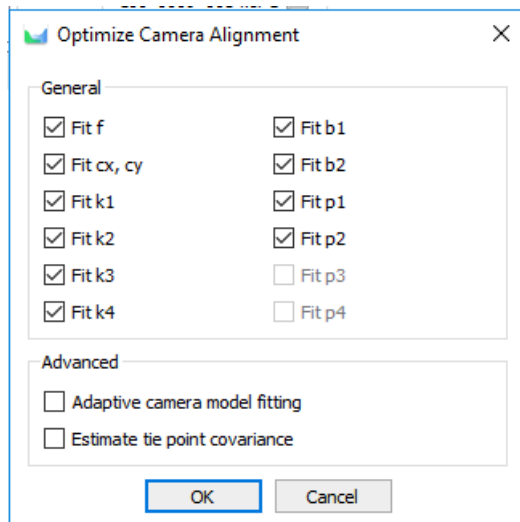
KUVA 14. GCP:ien tuonti Agisoft Metashape professional -ohjelmaan

4.1.7 Kameroiden kohdistuksen optimoiminen

Kameroiden kohdistuksen optimoimisella Agisoft Metashape Professional -ohjelma korjaa mahdollisia vääristymiä harvassa pistepilvessä. Tämä vaihe on tärkeä etenkin, jos ohjauspisteiden koordinaatit tiedetään tarkasti.

Tätä ennen voidaan poistaa harvasta pistepilvestä suurimmat projektiovirhearvot käyttämällä virhettä vastaavia kriteerejä Gradual Selection -työkalussa, joka löytyy Edit-valikon alta.

Jos kameroiden tarkka sijainti tiedetään tarkasti, valitaan kaikki kuvat ja merkit Reference-paneelistä. Jos kameroiden tarkkaa sijaintia ei tiedetä, valitaan vain merkit. Tämän jälkeen valitaan Optimize-työkalu Reference-paneelin työkaluista. Avautuneesta valikosta valitaan halutut kameran parametrit ja lopuksi painetaan OK. Opinnäytetyössä optimoitiin kuvassa 15 näkyvät parametrit.



KUVA 15. Kameroiden kohdistamisen valikko

4.1.8 Rajoituslaatikon määrittäminen

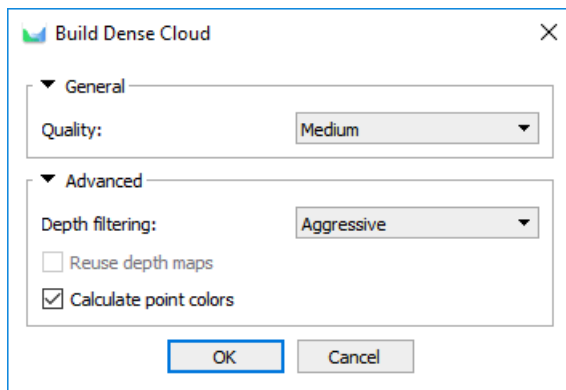
Rajoituslaatikko rajaa mallin koon. Rajoituslaatikon tulisi olla tarpeeksi iso, jotta koko malli mahtuu sen sisään. Rajoituslaatikkoa suurennetaan, jos se on tarpeen.

4.1.9 Tiheän pistepilven rakentaminen

Agisoft Metashape Pro kokoaa tiheän pistepilven kameroiden datasta.

Aluksi valitaan Build Dense Cloud Workflow-valikosta. Avautuneesta valikosta valitaan haluttu tiheän pistepilven laatu ja muut asetukset. Lopuksi valitaan OK ja ohjelma alkaa kokoamaan tiheää pistepilveä.

Huomion arvoinen asia on, että tiheän pistepilven kokoaminen vie usein paljon aikaa, joten parhaan laadun valinta ei aina kannata. Tästä syystä opinnäytetyössä käytettiin keskivertoa laatua, kuten kuvassa 16 näkyy.



KUVA 16. Tiheän pistepilven kokoamisvalikko

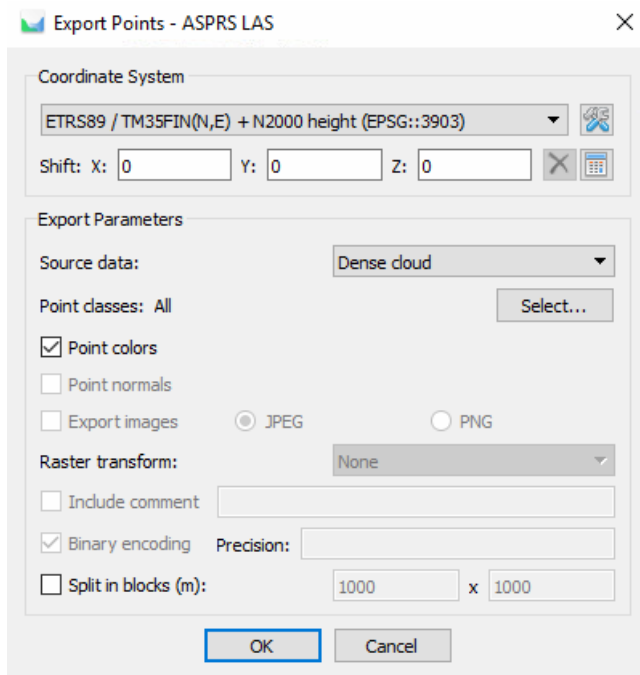
4.1.10 Tiheän pistepilven vienti toisiin ohjelmiin

Tiheään pistepilven (kuva 17) viemiseksi toisiin ohjelmiin valitaan Export Points File-valikon alta. Avautuneesta valikosta valitaan oikea koordinaattisysteemi ja lähdedataksi valitaan tiheä pistepilvi. Muutkin asetukset on hyvä tarkistaa ja lopuksi valitaan OK.

Opinnäytetyössä käytettiin kuvassa 18 näkyviä arvoja.



KUVA 17. Tiheä pistepilvi



KUVA 18. Tiheän pistepilven vientivalikko

Seuraavaksi valitaan tiedostolle sijainti ja sen muoto. Tiedoston viemiseksi Autodesk-sovellukseen tulee valita muodoksi LAS (.las).

4.2 Tiheän pistepilven rajaaminen Autodesk Recap 360 -ohjelmassa

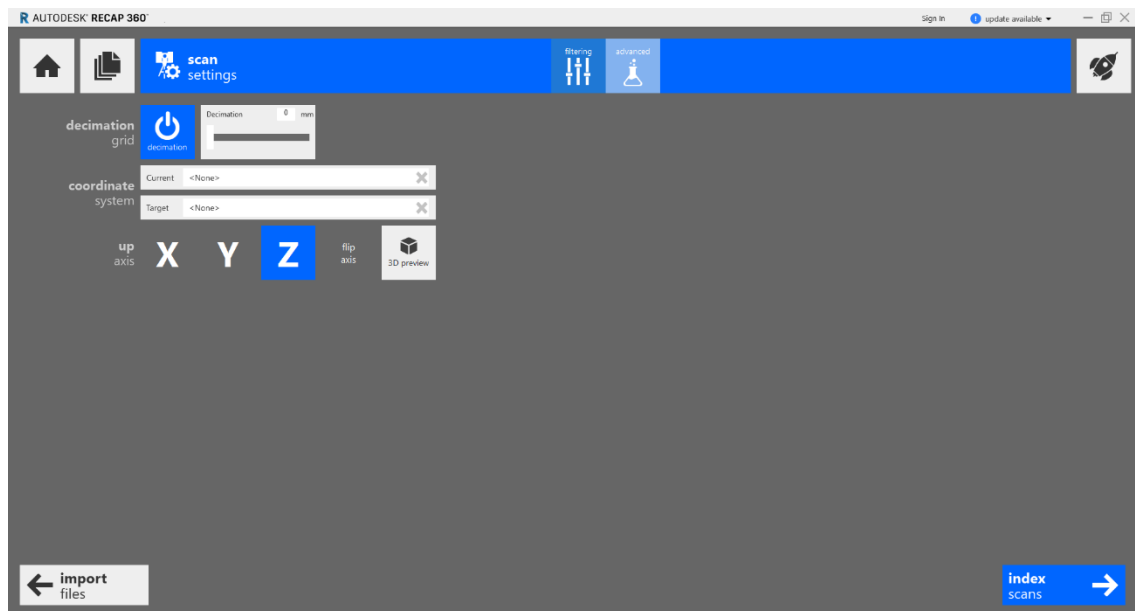
Jotta tiheästä pistepilvestä voidaan laskea haluttujen maamassakasojen tilavuudet, on tiheää pistepilveä rajattava ensin. Tätä varten käytetään Autodesk Recap 360 -ohjelmaa. Vaikka tiheästä pistepilvestä ei tarvitsisikaan rajata mitään, on se silti tuotava johonkin ohjelmaan, jossa sen tiedostomuoto voidaan vaihtaa Autodesk Civil 3D -ohjelmaan sopivaksi.

4.2.1 Tiheän pistepilven tuonti Autodesk Recap 360 -ohjelmaan

Tiheän pistepilven muokkaamiseksi valitaan ensimmäiseksi Scan Project. Tämän jälkeen luodaan uusi projekti. Projektille annetaan nimi ja tiedostolle määrätään talletuspaikka. Tämän jälkeen valitaan Proceed.

Seuraavaksi valitaan tiedostot, jotka tuodaan Autodesk Recap 360 -ohjelmaan. Tämä tehdään valitsemalla Select Files to Import ja avautuneesta ikkunasta valitaan haluttu tiedosto.

Seuraavaksi valitaan view and modify scanner-related settings, including the ability to filter data. Valikon alta valitaan vielä advanced ja määritetään decimation-asetus nolnaan millimetriin (kuva 19). Tämä on tehtävä, koska Autodesk Recap 360 harventaa tiedoston oletuksella viiteen millimetriin. Lopuksi klikataan Index-painiketta. Lataamisen jälkeen valitaan Launch project.



KUVA 19. Advanced valikon alta löytyy Decimation

4.2.2 Tiheän pistepilven rajaaminen

Tiheän pistepilven avauduttua valitaan rajaamistyökaluksi alareunasta Fence-toiminto. Tiheästä pistepilvestä rajataan haluttu alue klikkaamalla sitä ja käymällä alue läpi. Rajaamisesta poistutaan kaksoisklikkaamalla viimeistä rajauskohtaa.

Seuraavaksi luodaan rajatuista pisteistä alue menemällä Region-toimintoon ja valitsemalla New Region. Alueelle annetaan nimi ja painetaan OK. Alue näkyy tiheässä pistepilvessä väritettynä (kuva 20). Pistepilvestä voidaan luoda useampia alueita toistamalla rajaaminen ja alueen luominen.



KUVA 20. Rajattu alue väritetty, kun siitä on luotu alue (Region)

Tämän jälkeen alue, tai alueet, piilotetaan menemällä oikeassa alanurkassa olevaan Project Navigator -valikkoon, Scan Region -valikon alta löytyvään alueeseen, ja painamalla Hide region -painiketta. Alue katoaa tämän jälkeen tiheästä pistepilvestä.

Seuraavaksi valitaan kaikki jäljelle jääneet tiheän pistepilven pisteet ja ne poistetaan. Tämän jälkeen avataan aiemmin piilotettu alue, tai alueet, painamalla uudelleen Hide region -painiketta.

Opinnäytetyössä rajattiin kaksi eri maamassakasaa tiheästä pistepilvestä myöhempää tulosten vertailua varten. Alueet rajattiin maasta löytyvien kiintopisteiden avulla, esimerkiksi lätäkön reuna, jotta kahdesta eri tiheästä pistepilvestä saataisiin vertailukelpoisia. Tämä vaihe tuli tehdä erityisen tarkasti, koska rajaaminen vaikuttaa erittäin paljon tilavuuden määrään.

4.2.3 Tiedoston vienti muihin ohjelmiin

Tiedoston viemiseksi mennään oikeassa ylänurkassa olevaan Home -valikkoon ja valitaan export. Valikossa määrätään tiedostolle sen tallennussijainti, nimi ja

talletusmuoto. Jos useampia alueita (region) on luotu, otetaan esiin vain yksi vie-
tävä aluekerrallaan ja muut piilotetaan.

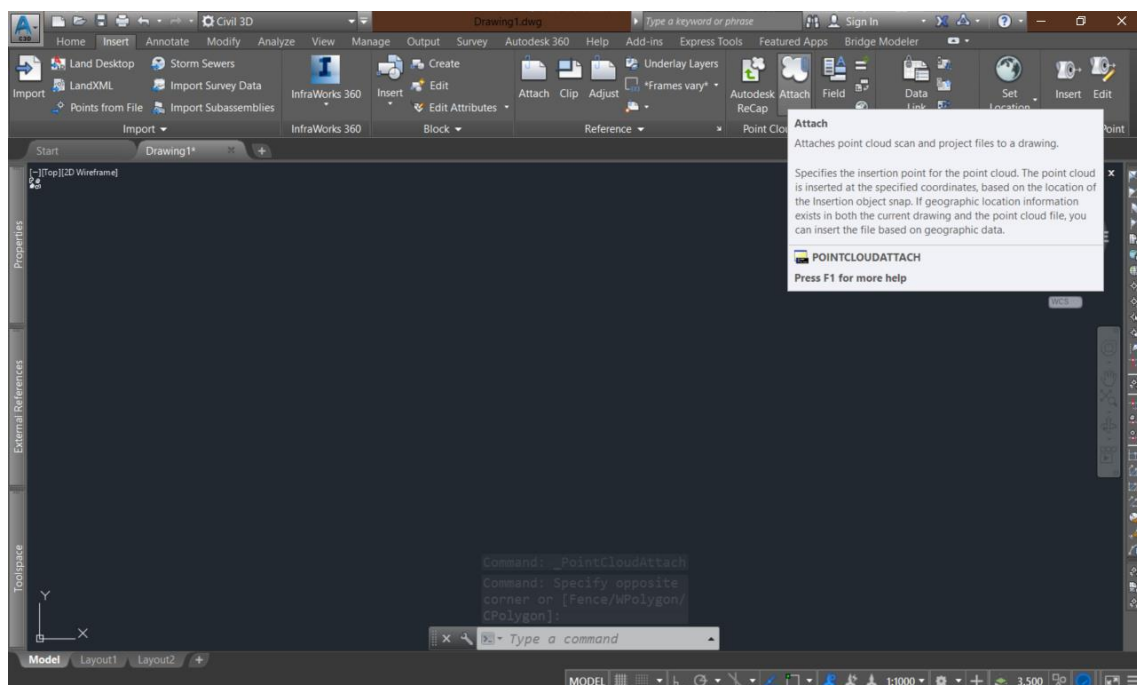
Opinnäytetyössä valittiin Unified RCP (*.rcp) -tiedostomuoto Autodesk Civil 3D -
ohjelmaan vientiä varten. Lisäksi havaittiin, että tiedoston nimeen ei voi laittaa
pilkkua, koska Autodesk Civil 3D -ohjelma ei pysty muuten lataamaan tiedostoa.

4.3 Tilavuuksien laskeminen tiheästä pistepilvestä Autodesk Civil 3D -oh- jelmalla

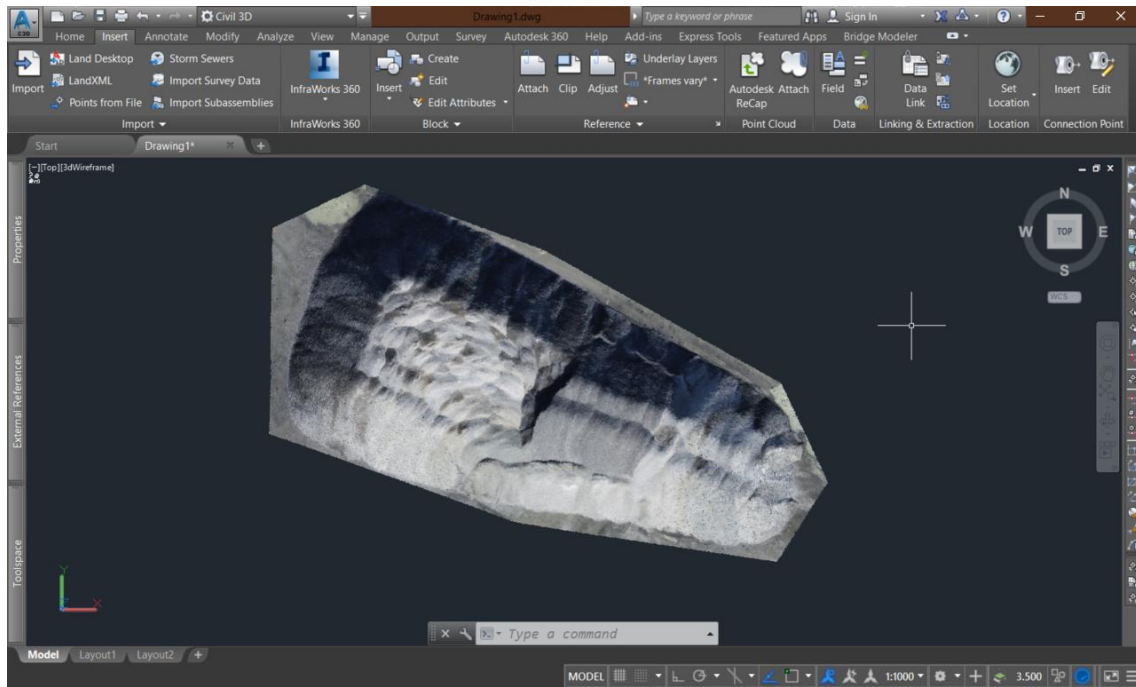
Autodesk Civil 3D -ohjelmalla rajatuista neljästä tiheästä pistepilvestä luodaan
kolmiulotteinen pinta, jonka tilavuuden ohjelma laskee.

4.3.1 Tiheän pistepilven tuominen Autodesk Civil 3D -ohjelmaan

Aloitetaan valitsemalla Attach-toiminto (kuva 21), joka löytyy Insert-valikosta
Point Cloud -paneelistä. Avautuneesta valikosta valitaan tuotava tiedosto. Tämän
jälkeen voidaan muuttaa lisäyskohtaa, mittakaavaa tai kiertoa avautuvasta uu-
desta valikosta. Lopuksi painetaan OK.



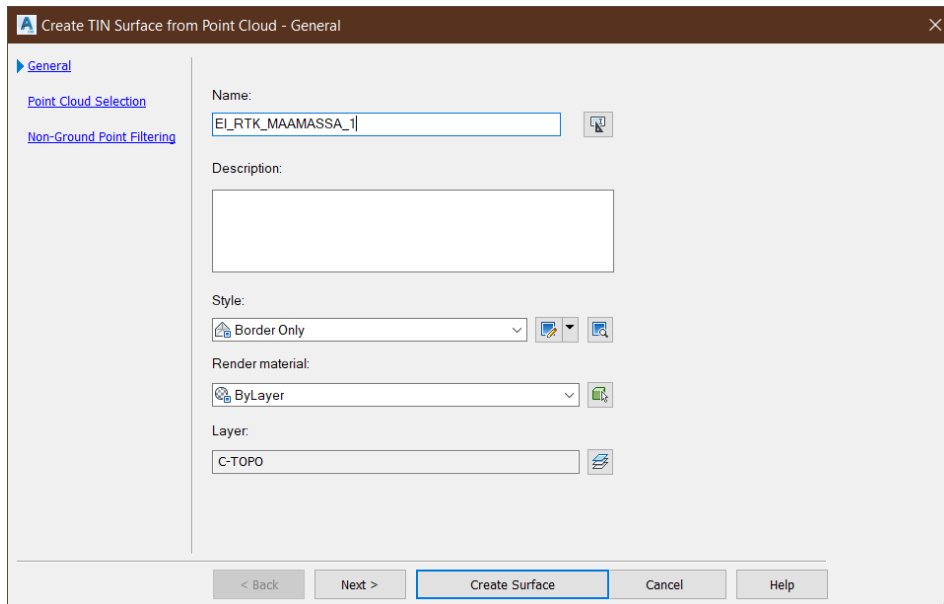
KUVA 21. Attach-toiminto valitaan pistepilven tuomiseksi



KUVA 22. Pistepilvi Autodesk Civil 3D -ohjelmassa

4.3.2 Pinnan luonti pistepilvestä

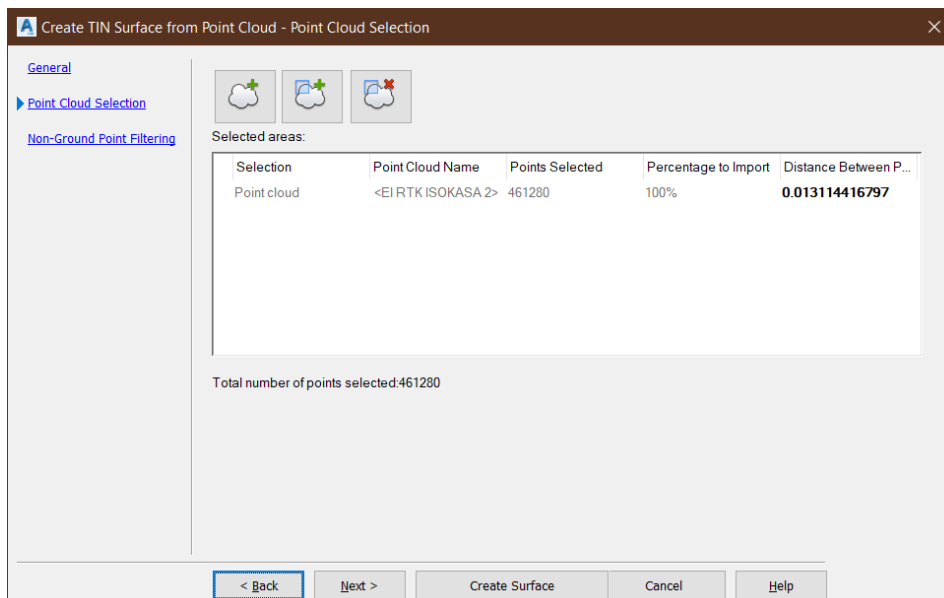
Pistepilvestä (kuva 22) luodaan pinta avaamalla Home-valikosta Create Ground Data -paneelistä löytyvä Surfaces-valikko. Valikosta klikataan Create Surface from Point Cloud -toiminto ja tämän jälkeen valitaan pistepilvi klikkaamalla sen reunaa. Avautuvassa valikossa pinnalle määrätään haluttu nimi, esitystyyliksi Borders Only ja Render material -kohdassa valitaan Bylayer (kuva 23). Lopuksi valitaan Next >.



KUVA 23. Valikko, joka ponnahtaa, kun pistepilvi on valittu

Nyt voidaan valita, kuinka paljon halutaan käyttää pistepilvestä. Oletuksena koko pistepilvi on valittuna (kuva 24). Pistepilvestä voidaan käyttää vain osaa tai siitä voidaan poistaa osia. Lopuksi valitaan kuitenkin Next >.

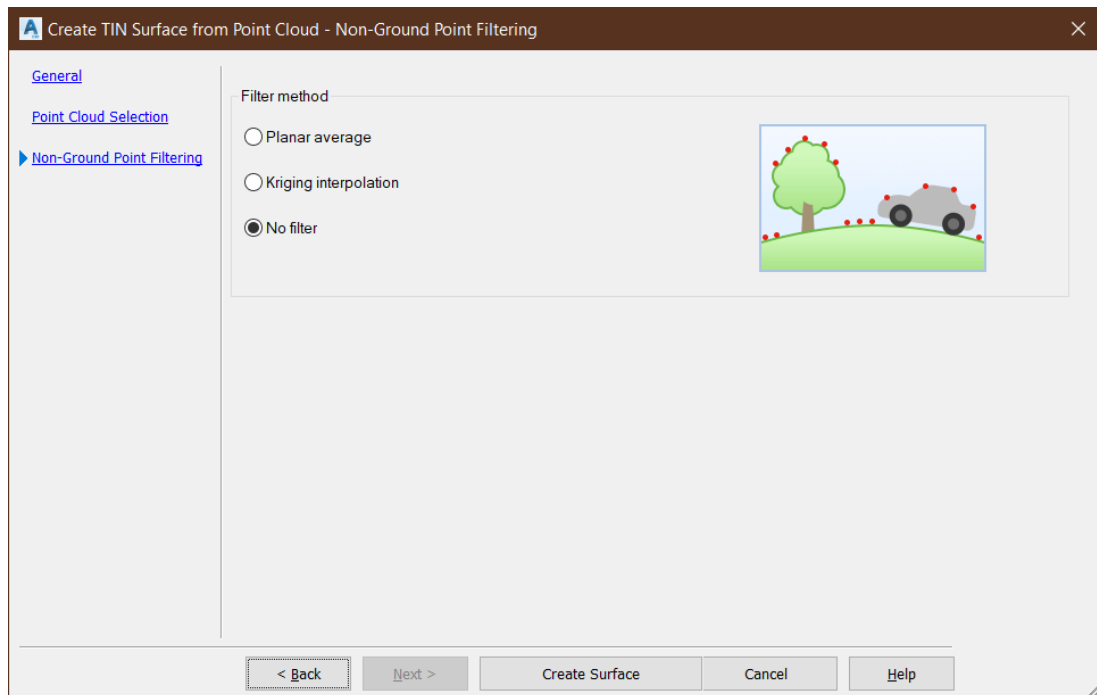
Opinnäytetyössä käytettiin koko pistepilveä.



KUVA 24. Tässä valikossa voidaan rajata pistepilveä

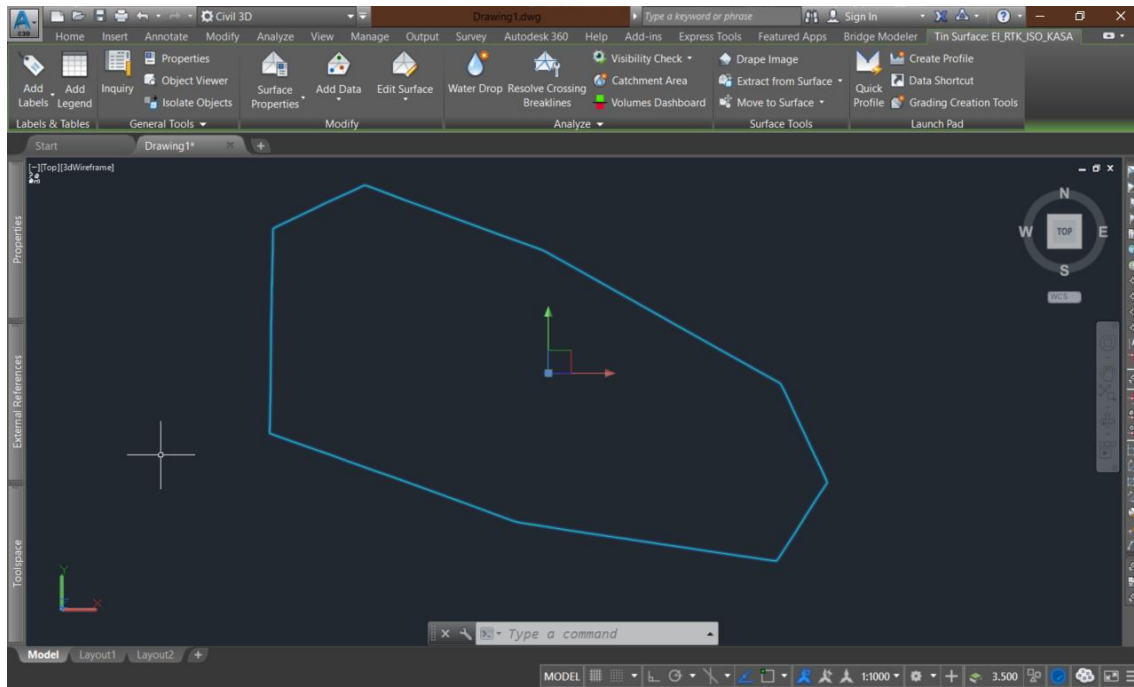
Seuraavaksi voidaan valita haluttu suodatustapa (kuva 25). Lopuksi painetaan Create Surface.

Opinnäytetyössä pistepilvi kuvaa maamassaa, joten siinä ei ole mitään suodatettavaa.



KUVA 25. No filter valitaan, jos pistepilvessä ei ole suodatettavaa

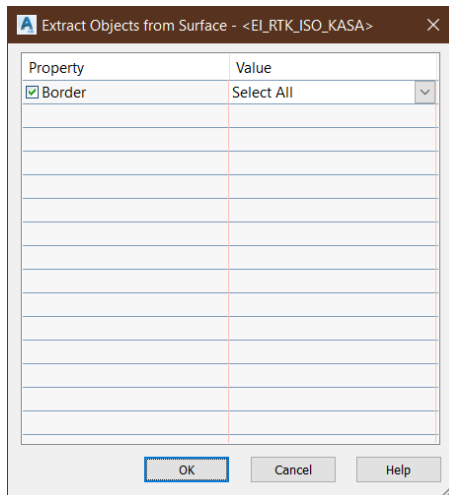
Latauksen jälkeen kannattaa piilottaa pistepilvi, jotta pinta on helpompi nähdä. Tämä tehdään menemällä External reference -valikkoon ja klikkaamalla pistepilveä hiiren oikealla painikkeella ja valitsemalla Unload. Lopulta näkyviin jää vain raja pinnasta, joka on tehtypistepilvestä (kuva 26).



KUVA 26. Pistepilvestä tehty malli, kun esitystapana on borders only

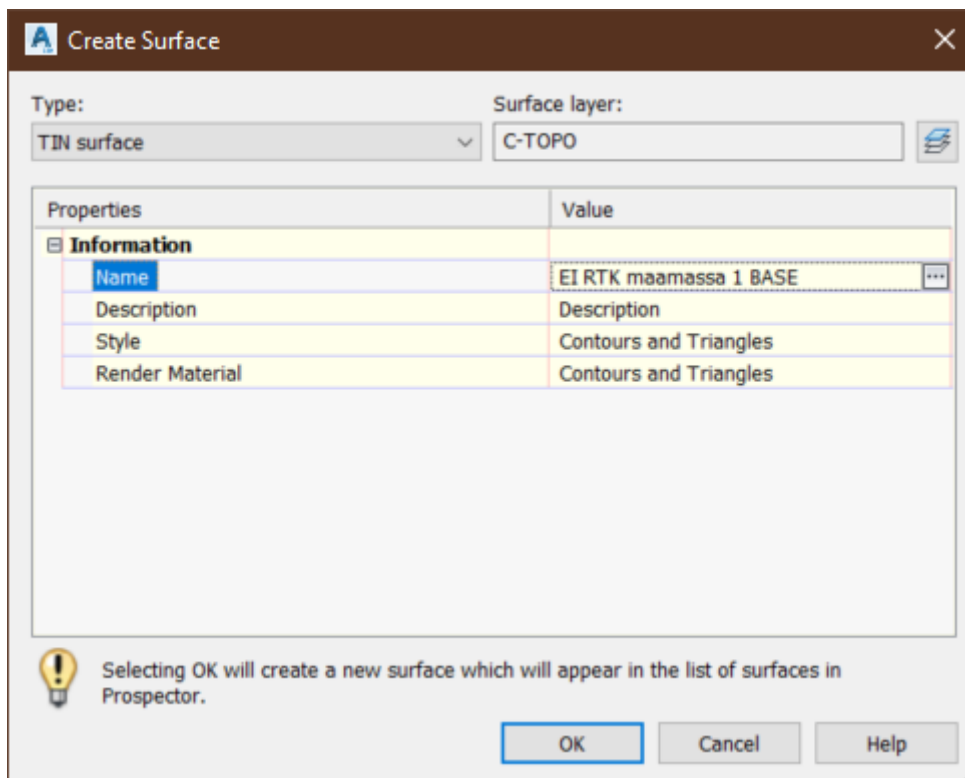
4.3.3 Pohjan luominen

Maamassakasalla ei ole vielä pohjaa kuvaavaa pintaa. Tämän luomiseksi otetaan mallista talteen kuvion raja. Aluksi valitaan kuvio ja sitten painetaan Extract Objects -toimintoa, joka löytyy Surface Tools -paneelistä Extract from Surface -valikosta. Avautuvasta valikosta valitaan Border (kuva 27) ja sen jälkeen painetaan OK. Ohjelma luo 3D-polylinen.



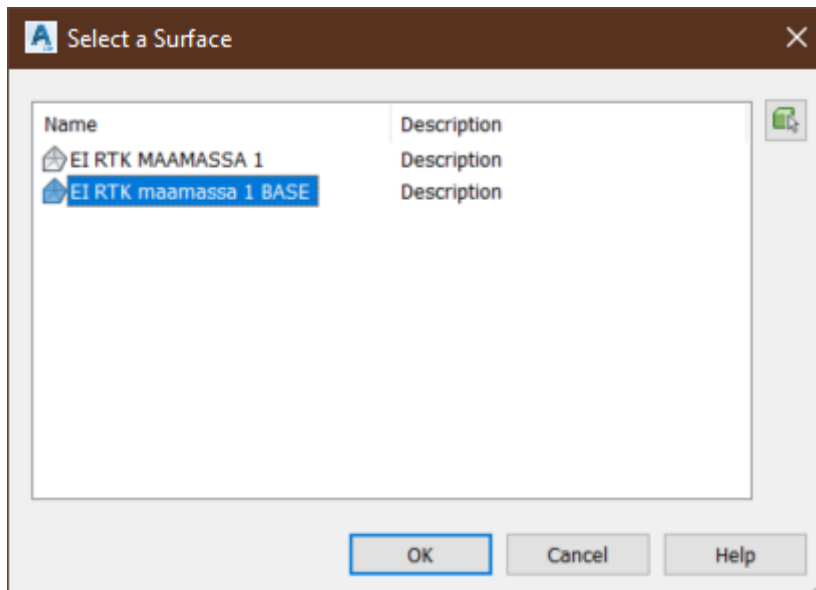
KUVA 27. Valikosta valitaan Border

Seuraavaksi valitaan Create Surface -toiminto, joka löytyy Home-valikosta Create Ground Data -paneelista Surface-valikosta. Uusi pinta nimetään ja sen tyyliksi valitaan Borders and Triangles (kuva 28). Tämän jälkeen painetaan OK ja ohjelma luo uuden pinnan, joka kuvaa kasan pohjaa.



KUVA 28. Uuden pinnan luominen

Seuraavaksi pohjan pintaan pitää lisätä dataa. Modify-valikosta valitaan Surface, minkä jälkeen valitaan Add Data -valikko ja siitä Breaklines. Sitten ohjelma kysyy, mihin pintaa halutaan lisätä dataa. Välilyöntiä painamalla avataan valikko, josta valitaan pohjan pinta (kuva 29). Seuraavaksi voidaan muuttaa asetuksia, mutta oletusasetukset ovat valmiiksi hyvät pohjan luomiseksi, joten voidaan painaa OK. Tämän jälkeen ohjelma kysyy, mihin halutaan lisätä dataa. Valitaan aiemmin luotu 3D polyline ja painetaan sen jälkeen Enteriä.

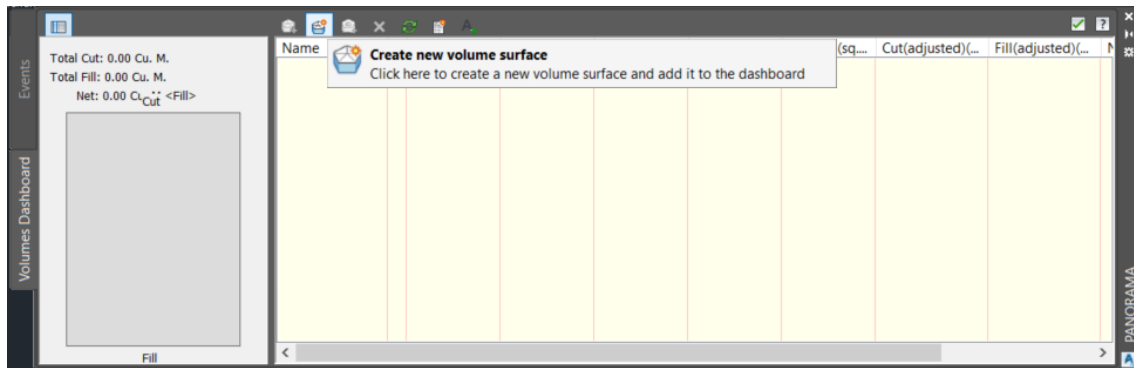


KUVA 29. Valikosta valitaan maamassan pohjaa esittävä pinta

4.3.4 Tilavuuden laskeminen

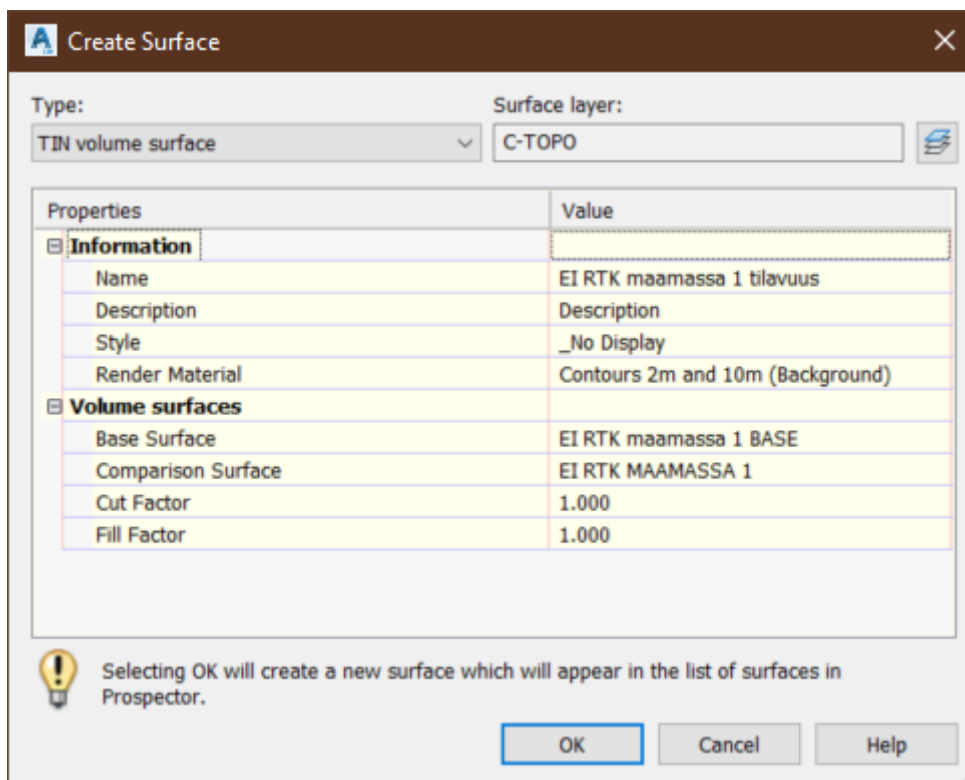
Tilavuuden laskemiseksi luodaan vielä yksi pinta kahdesta aiemmin luodusta pinnasta. Ohjelma laskee samalla maamassakasan tilavuuden.

Aloitetaan avaamalla Analyze-valikko ja valitaan Volumes Dashboard. Ponnahdaneesta ikkunasta (kuva 30) valitaan vielä Create new volume surface -toiminto.



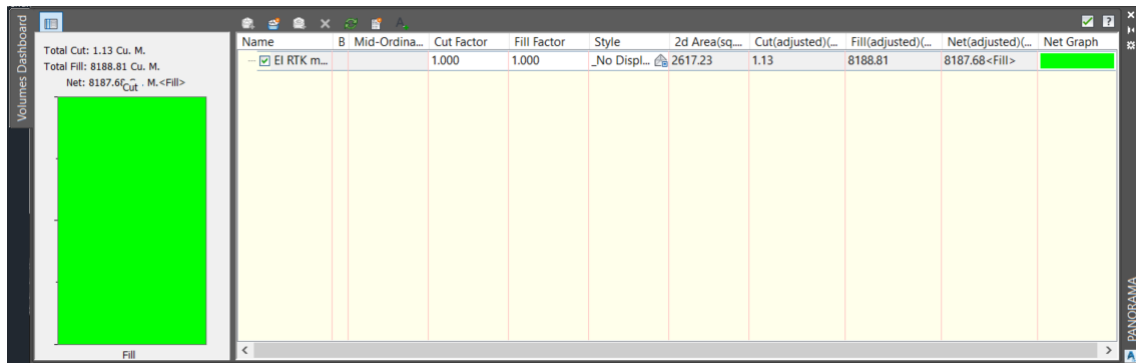
KUVA 30. Ponnahdusikkuna, josta valitaan Create new volume surface -toiminto

Pinnalle annetaan haluttu nimi ja sen tyyliksi muutetaan No display, koska mallia ei tarvita tästä pinnasta. Pohjapinnaksi valitaan aiemmin tehty pohja ja vertailupinnaksi pistepilvestä tehty pinta, kuten kuvassa 31. Lopuksi painetaan OK.



KUVA 31. Tilavuuspinnan luonti

Ohjelma laskee maamassakasan tilavuuden pintojen avulla. Tulokset tulevat näkyviin ikkunaan kuutiometreissä kuvan 32 mukaisesti.



KUVA 32. Autodesk Civil 3D -ohjelman laskema tilavuus Maamassa yhdelle, kun pistepilvi on luotu DJI Phantom 4 Pro -dronella

5 TARKKUUKSIEN VERTAILU

Autodesk Civil 3D -ohjelmasta saadut tulokset ovat kuutiometreissä. Taulukossa 1 on kuvattu maamassojen tilavuudet kummankin dronen osalta kuutiometreissä.

TAULUKKO 1. Maamassojen tilavuudet käytetyn dronen mukaan

Drone	Maamassa	m ³
DJI Phantom 4 Pro	maamassa 1	8 187,68
	maamassa 2	5 690,71
DJI Phantom 4 RTK	maamassa 1	10 139,09
	maamassa 2	7 029,94

Tilavuuksia tarkastaessa huomataan, että dronien tulokset eroavat toisistaan huomattavasti. Kuten taulukosta 2 huomaa, ero DJI Phantom 4 Pro- ja DJI Phantom 4 RTK – dronien välillä on jopa noin 19 prosenttia.

TAULUKKO 2. Tilavuuksien erot kuutiometreissä ja prosenteissa

Maamassa	ero kuutiometreissä (m ³)	ero prosenteissa (%)
maamassa 1	1 951,41	19,25
maamassa 2	1 339,23	19,05

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää RTK-dronen käyttämisen hyötyjä verrattuna perinteiseen dronekuvaamiseen. Droneilla otetuista kuvista luodaan tiheät pistepilvet käyttäen Agisoft Metashape Professional -ohjelmaa ja mallien avulla lasketaan maamassan tilavuus Autodesk Civil 3D -ohjelmalla. Työssä kuvataan kuvaustekniikat ja kuvausaineistojen käsittelyohjelmistot yksityiskohtaisesti, jotta menetelmää on mahdollista toistaa ja käyttää apuna jatkossa.

Tavoitteeseen päästiin keskittymällä tarkkuuksien vertaamiseen, jossa RTK-tekniikan avulla dronen tarkka sijainti tiedetään koko ajan, kun se on ilmassa. Tämän ansiosta kuvien tarkkasijainti tunnetaan, mikä mahdollistaa paremman pistepilven luonnin. Tarkkasta pistepilvestä voidaan luoda yksityiskohtainen malli, jonka tilavuus pystytään laskemaan.

Opinnäytetyössä päästiin jopa 19 prosentin eroon maamassan tilavuudessa, kun kameran tarkkapaikka tiedetään kuvaushetkellä. Työssä tarkkailtiin kahden eri kasan tilavuuksia erikseen ja kasojen tulokset ovat lähestulkoon samat. Koska tulokset pohjautuvat vain kahteen kuvaukseen, ei tulosten perusteella voida ottaa kantaa suoraan RTK-dronen ja perinteisen dronen eroavaisuuksiin mittaustarkkuudessa. Mittaustarkkuuksien tarkka selvittäminen vaatii kuvauksiin useita toistoja.

Maamassojen tilavuuksien mittauksen tarkkuuden parantaminen auttaa suunnittelijoita erilaisissa maansiirtotöiden suunnittelussa. Maansiirtokustannukset voidaan laskea tällöin tarkemmin ja turhilta lisätoilta säästytään, kun massa ei lopu kesken rakentamisen.

LÄHTEET

D-RTK 2. 2019. dl.djicdn.com. Saatavissa: http://dl.djicdn.com/downloads/d-rtk-2/20190314/D_RTK_2_High_Precision_GNSS_Mobile_Station_for_Matrice_Series_User_Guide_v1.2_EN_CH.pdf. Hakupäivä 26.10.2019.

D-RTK 2 High Precision GNSS Mobile Station. 2019a. dji.com. Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/d-rtk-2/info#faq>. Hakupäivä 26.10.2019.

D-RTK 2 High Precision GNSS Mobile Station. 2019b. dji.com. Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/d-rtk-2/info#specs>. Hakupäivä 11.11.2019.

DJI GS PRO. 2019. dji.com. Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/ground-station-pro>. Hakupäivä 21.10.2019.

Downloads. 2019. agisoft.com. Saatavissa: <https://www.agisoft.com/downloads/system-requirements/>. Hakupäivä 11.11.2019.

Features. 2019. agisoft.com. Saatavissa: <https://www.agisoft.com/features/professional-edition/>. Hakupäivä 15.10.2019.

Mannila, Sami 2017. Fotogrammetrian hyödyntäminen pelisuunnittelussa. Opin-
näytetyö. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala, Mediatekniikka, Tek-
ninen visualisointi. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/126691/Mannila_Sami.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä 26.2019.

Mehtälä, Ismo 2019. Yhden vastaanottimen tarkka paikannus. Insinöörityö. Hel-
sinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu, Maanmittaustekniikka. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/43254/Mehtala_Ismo.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä 26.11.2019.

Metashape – photogrammetric processing og digital images and 3D spa-tial data
generation. 2019. agisoft.com. Saatavissa: <https://www.agisoft.com/>. Hakupäivä 22.10.2019.

Ohjeita turvalliseen lentämiseen. 2019. droneinfo.fi. Saatavissa: https://www.droneinfo.fi/fi/nain_lennatat_turvallisesti. Hakupäivä 29.9.2019.

Phantom 4 Pro. 2019a. dji.com. Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/phantom-4-pro>. Hakupäivä 21.10.2019.

PHANTOM 4 PRO. 2019b. dji.com. Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/phantom-4-pro/info#specs>. Hakupäivä 11.11.2019.

Phantom 4 RTK. 2019a. dji.com. Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/phantom-4-rtk/info#video>. Hakupäivä 22.10.2019.

Phantom 4 RTK. 2019b. dji.com. Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/phantom-4-rtk>. Hakupäivä 22.10.2019.

Phantom 4 RTK Photogrammetry Tutorial. 2018. dji.com. Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/phantom-4-rtk/info#video>. Hakupäivä 22.10.2019.

Reality capture and 3D scanning software for intelligent model creation. 2019. autodesk.com. Saatavissa: <https://www.autodesk.com/products/recap/overview>. Hakupäivä 26.10.2019.

System requirements for Autodesk Civil 3D 2020. 2019. knowledge.autodesk.com. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/civil-3d/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-Civil-3D-2020.html>. Hakupäivä 11.11.2019.

System requirements for Autodesk ReCap Pro 2019, ReCap Photo 2019, and ReCap Pro app for iPad. 2019. knowledge.autodesk.com. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/recap/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-ReCap-Pro-2019-ReCap-Photo-2019-and-ReCap-Pro-app-for-iPad.html>. Hakupäivä 11.11.2019.

Jarvelainen, Titta 2019. Projektisuunnittelija, Oulun ammattikorkeakoulu. Valokuvat dronejen lennättämisestä.

Yhdyskuntasuunnittelu- ja dokumentointiohjelmisto. 2019. autodesk.fi. Saatavissa: <https://www.autodesk.fi/products/civil-3d/overview>. Hakupäivä 27.10.2019.

LIITTEET

Liite 1 DJI Phantom 4 Pro -dronen tekniset tiedot

Liite 2 DJI Phantom 4 RTK -dronen tekniset tiedot

Liite 3 D-RTK 2 korkea tarkkuus liikkuva GNSS-aseman tekniset tiedot

Liite 4 Agisoft Metashape Professional -ohjelman laitteistovaatimukset

Liite 5 Autodesk Civil 3D -ohjelman laitteistovaatimukset

Liite 6 Autodesk Recap 360 -ohjelman laitteistovaatimukset

AIRCRAFT

Weight (Battery & Propellers Included) **1388 g**

Diagonal Size (Propellers Excluded) **350 mm**

Max Ascent Speed S-mode: **6** **m/s**
P-mode: 5 m/s

Max Descent Speed S-mode: **4** **m/s**
P-mode: 3 m/s

Max Speed S-mode: **45** **mph** **(72** **kph)**
A-mode: **36** **mph** **(58** **kph)**
P-mode: 31 mph (50 kph)

Max Tilt Angle S-mode: **42°**
A-mode: **35°**
P-mode: 25°

Max Angular Speed S-mode: **250°/s**
A-mode: 150°/s

Max Service Ceiling Above Sea Level **19685 feet (6000 m)**

Max Wind Speed Resistance **10 m/s**

Max Flight Time **Approx. 30 minutes**

Operating Temperature Range **32° to 104°F (0° to 40°C)**

Satellite Positioning Systems - GPS/GLONASS

Hover Accuracy Range	Vertical:			
	±0.1	m	(with Vision Positioning)	
	±0.5	m	(with GPS Positioning)	
	Horizontal:			
	±0.3	m	(with Vision Positioning)	
	±1.5 m (with GPS Positioning)			

VISION SYSTEM

Vision System	Forward	Vision	System
	Backward	Vision	System
	Downward Vision System		

Velocity Range	≤31 mph (50 kph) at 6.6 ft (2 m) above ground
-----------------------	---

Altitude Range	0 - 33 feet (0 - 10 m)
-----------------------	------------------------

Operating Range	0 - 33 feet (0 - 10 m)
------------------------	------------------------

Obstacle Sensory Range	2 - 98 feet (0.7 - 30 m)
-------------------------------	--------------------------

FOV	Forward:	60°(Horizontal), ±27°(Vertical)
	Backward:	60°(Horizontal), ±27°(Vertical)
	Downward:	70°(Front and Rear), 50°(Left and Right)

Measuring Frequency	Forward:	10	Hz
	Backward:	10	Hz
	Downward:	20 Hz	

Operating Environment

Surface with clear pattern and adequate lighting (lux>15)

CAMERA

Sensor	1"	CMOS
	Effective pixels: 20M	

Lens	FOV 84° 8.8 mm/24 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 - f/11 auto focus at 1 m - ∞
-------------	---

ISO Range	Video:
	100 - 3200 (Auto)
	100 - 6400 (Manual)
	Photo:
	100 - 3200 (Auto)
	100- 12800 (Manual)

Mechanical Shutter Speed	8 - 1/2000 s
---------------------------------	--------------

Electronic Shutter Speed	8 - 1/8000 s
---------------------------------	--------------

Image Size	3:2 Aspect Ratio: 5472 × 3648
	4:3 Aspect Ratio: 4864 × 3648
	16:9 Aspect Ratio: 5472 × 3078

PIV Image Size	4096×2160(4096×2160 24/25/30/48/50p)
	3840×2160(3840×2160 24/25/30/48/50/60p)
	2720×1530(2720×1530 24/25/30/48/50/60p)
	1920×1080(1920×1080 24/25/30/48/50/60/120p)
	1280×720(1280×720 24/25/30/48/50/60/120p)

Still Photography Modes	Single Shot
	Burst Shooting: 3/5/7/10/14 frames
	Auto Exposure Bracketing (AEB): 3/5 bracketed frames at 0.7 EV Bias
	Interval: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s

Video Recording Modes**H.265**

C4K:4096×2160	24/25/30p	@100Mbps
4K:3840×2160	24/25/30p	@100Mbps
2.7K:2720×1530	24/25/30p	@65Mbps
2.7K:2720×1530	48/50/60p	@80Mbps
FHD:1920×1080	24/25/30p	@50Mbps
FHD:1920×1080	48/50/60p	@65Mbps
FHD:1920×1080	120p	@100Mbps
HD:1280×720	24/25/30p	@25Mbps
HD:1280×720	48/50/60p	@35Mbps
HD:1280×720	120p	@60Mbps

H.264

C4K:4096×2160	24/25/30/48/50/60p @100Mbps	
4K:3840×2160	24/25/30/48/50/60p @100Mbps	
2.7K:2720×1530	24/25/30p	@80Mbps
2.7K:2720×1530	48/50/60p	@100Mbps
FHD:1920×1080	24/25/30p	@60Mbps
FHD:1920×1080	48/50/60	@80Mbps
FHD:1920×1080	120p	@100Mbps
HD:1280×720	24/25/30p	@30Mbps
HD:1280×720	48/50/60p	@45Mbps
HD:1280×720	120p	@80Mbps

Max Video Bitrate

100 Mbps

Supported File Systems

FAT32 (≤32 GB); exFAT (>32 GB)

Photo

JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG

Video

MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)

Supported SD Cards	Micro	SD
	Max	Capacity: 128GB
	Write speed $\geq 15\text{MB/s}$, Class 10 or UHS-1 rating required	

Operating Temperature Range	32° to 104°F (0° to 40°C)
------------------------------------	---------------------------

CHARGER

Voltage	17.4 V
----------------	---------------

Rated Power	100 W
--------------------	-------

APP / LIVE VIEW

Mobile App	DJI GO 4
-------------------	-----------------

Live View Working Frequency	2.4 GHz ISM, 5.8 GHz ISM
------------------------------------	--------------------------

Live View Quality	720P @ 30fps
--------------------------	--------------

Latency	Phantom 4 Pro: 220 ms (depending on conditions and mobile device) Phantom 4 Pro + : 160 - 180 ms
----------------	---

GIMBAL

Stabilization	3-axis (pitch, roll, yaw)
----------------------	----------------------------------

Controllable Range	Pitch: -90° to +30°
---------------------------	---------------------

Max Controllable Angular Pitch: 90°/s
Speed

Angular Vibration Range	$\pm 0.02^\circ$
--------------------------------	------------------

INFRARED SENSING SYSTEM

Obstacle Sensory Range	0.6 - 23 feet (0.2 - 7 m)
-------------------------------	----------------------------------

FOV	70° (Horizontal), $\pm 10^\circ$ (Vertical)
------------	---

Measuring Frequency	10 Hz
----------------------------	-------

Operating Environment	Surface with diffuse reflection material, and reflectivity > 8% (such as wall, trees, humans, etc.)
------------------------------	---

REMOTE CONTROLLER

Operating Frequency	2.400 - 2.483 GHz and 5.725 - 5.825 GHz
----------------------------	--

Max Transmission Distance	2.400 - 2.483 GHz (Unobstructed, free of interference)
	FCC: 4.3 mi (7 km)
	CE: 2.2 mi (3.5 km)
	SRRC: 2.5 mi (4 km)
	5.725 - 5.825 GHz (Unobstructed, free of interference)
	FCC: 4.3 mi (7 km)
	CE: 1.2 mi (2 km)
	SRRC: 3.1 mi (5 km)

Operating Temperature Range 32° to 104°F (0° to 40°C)

Battery 6000 mAh LiPo 2S

Transmitter Power (EIRP)	2.400	-	2.483	GHz
	FCC:		26	dBm
	CE:		17	dBm
	SRRC:		20	dBm
	MIC:		17	dBm
	5.725	-	5.825	GHz
	FCC:		28	dBm
	CE:		14	dBm
	SRRC:		20	dBm
	MIC: -			

Operating Current/Voltage 1.2 A@7.4 V

Video Output Port	GL300E:	HDMI
	GL300F:	USB

Mobile Device Holder GL300E: Built-in display device (5.5 inch screen, 1920×1080, 1000 cd/m², Android system, 4 GB RAM+16 GB ROM)
GL300F: Tablets and smart phones

INTELLIGENT FLIGHT BATTERY

Capacity 5870 mAh

Voltage 15.2 V

Battery Type LiPo 4S

Energy 89.2 Wh

Net Weight 468 g

Charging **Temperature** 41° to 104°F (5° to 40°C)
Range

Max Charging Power	160 W
---------------------------	-------

(PHANTOM 4 PRO. 2019b)

AIRCRAFT

Takeoff Weight **1391 g**

Diagonal Distance 350 mm

Max Service Ceiling Above Sea Level 19685 ft (6000 m)

Max Ascent Speed 6 m/s (automatic flight); 5 m/s (manual control)

Max Descent Speed 3 m/s

Max Speed 31 mph (50 kph)(P-mode)
36 mph (58 kph)(A-mode)

Max Flight Time Approx. 30 minutes

Operating Temperature Range 32° to 104° F (0° to 40°C)

Operating Frequency 2.400 GHz to 2.483 GHz (Europe, Japan, Korea)
5.725 GHz to 5.850 GHz (United States, China)

Transmission Power (EIRP) 2.4 GHz
CE (Europe) / MIC (Japan) / KCC (Korea) : < 20 dBm

5.8 GHz
SRRC (China) / FCC (United States) / NCC(Taiwan,China) : < 26 dBm

Hover Accuracy Range RTK enabled and functioning properly :
Vertical : ± 0.1 m ; Horizontal : ± 0.1 m

RTK disabled

Vertical : ± 0.1 m (with vision positioning) ;

± 0.5 m (with GNSS positioning)

Horizontal : ± 0.3 m (with vision positioning) ;

± 1.5 m (with GNSS positioning)

Image Position Offset

The position of the camera center is relative to the phase center of the onboard D-RTK antenna under the aircraft body's axis: (36, 0, and 192 mm) already applied to the image coordinates in Exif data. The positive x, y, and z axes of the aircraft body point to the forward, rightward, and downward of the aircraft, respectively.

MAPPING FUNCTIONS

Mapping Accuracy **

Mapping accuracy meets the requirements of the ASPRS Accuracy Standards for Digital Orthophotos Class III

** The actual accuracy depends on surrounding lighting and patterns, aircraft altitude, mapping software used, and other factors when shooting.

Ground Sample Distance (GSD)	Dis-	(H/36.5)	cm/pixel,
		H means the aircraft altitude relative to shooting scene (unit: m)	

Data Acquisition Efficiency

Max operating area of approx. 1 km² for a single flight (at an altitude of 182 m, i.e., GSD is approx. 5 cm/pixel, meeting the requirements of the ASPRS Accuracy Standards for Digital Orthophotos Class III)

VISION SYSTEM

Velocity Range

≤31 mph (50 kph) at 6.6 ft (2 m) above ground with adequate lighting

Altitude Range

0-33 ft (0 - 10 m)

Operating Range

0-33 ft (0 - 10 m)

Obstacle Sensing Range

2-98 ft (0.7-30 m)

FOV	Forward/Rear: 60° (horizontal), $\pm 27^\circ$ (vertical) Downward: 70° (front and rear), 50° (left and right)
------------	---

Measuring Frequency	Forward/Rear : 10 Hz; Downward : 20 Hz
----------------------------	---

Operating Environment	Surfaces with clear patterns and adequate lighting (> 15 lux)
------------------------------	--

CAMERA

Sensor	1" CMOS; Effective pixels: 20 M
---------------	--

Lens	FOV 84° ; 8.8 mm / 24 mm (35 mm format equivalent: 24 mm) ; f/2.8 - f/11, auto focus at 1 m - ∞
-------------	---

ISO Range	Video: 100-3200 (Auto) 100-6400 (Manual) ; Photo: 100-3200 (Auto) 100-12800 (Manual)
------------------	---

Mechanical Shutter Speed	8 - 1/2000 s
---------------------------------	--------------

Electronic Shutter Speed	8 - 1/8000 s
---------------------------------	--------------

Max Image Size	4864×3648 (4:3) ; 5472×3648 (3:2)
-----------------------	--------------------------------------

Video Recording Modes	H.264, 4K : 3840×2160 30p
------------------------------	---------------------------

Photo Format	JPEG
---------------------	-------------

Video Format	MOV
---------------------	------------

Supported File Systems	FAT32 (≤ 32 GB) ; exFAT (> 32 GB)
-------------------------------	--------------------------------------

Supported SD Cards	MicroSD, Max Capacity: 128 GB. Class 10 or UHS-1 rating required Write speed ≥ 15 MB/s
---------------------------	---

Operating Temperature Range	32° to 104° F (0° to 40°C)
------------------------------------	----------------------------

INTELLIGENT FLIGHT BATTERY(PH4-5870MAH-15.2V)

Capacity	5870 mAh
-----------------	-----------------

Voltage	15.2 V
----------------	---------------

Battery Type	LiPo 4S
---------------------	----------------

Energy	89.2 Wh
---------------	----------------

Net Weight	468 g
-------------------	--------------

Charging Temperature Range	14° to 104°F (-10° to 40°C)
-----------------------------------	-----------------------------

Max charging Power	160 W
---------------------------	--------------

INTELLIGENT BATTERY CHARGING HUB(WCH2)

Input Voltage	17.3 - 26.2 V
----------------------	----------------------

Output Voltage and Current 8.7 V, 6 A ; 5 V, 2 A

Operating Temperature 41° to 104°F (5° to 40°C)

SDK REMOTE CONTROLLER

Operating Frequency 2.400 GHz to 2.483 GHz (Europe, Japan, Korea)
5.725 GHz to 5.850 GHz (Other countries/regions)

EIRP	2.4	GHz
	CE / MIC / KCC: < 20	dBm
	5.8	GHz
	FCC / SRRC / NCC: < 26	dBm

Max Transmission Distance FCC / NCC: 4.3 mi (7 km);
CE / MIC / KCC / SRRC: 3.1 mi (5 km)
(Unobstructed, free of interference)

Built-in Battery 6000 mAh LiPo 2S

Operating Current / Voltage 1.2 A @ 7.4 V

Mobile Device Holder Tablets and smartphones

Operating Temperature 32° to 104° F (0° to 40° C)

GNSS

Single-Frequency, High-Sensitivity GNSS Module GPS+BeiDou+Galileo (Asia) ;
GPS+GLONASS+Galileo (other regions)

Multi-Frequency Multi-System High-Precision RTK GNSS

Frequency Used :

GPS : L1/L2 ;
GLONASS : L1/L2 ;
BeiDou : B1/B2 ;
Galileo : E1/E5a

First-Fixed Time : < 50 s

Positioning Accuracy: Vertical 1.5 cm + 1 ppm (RMS) ;
Horizontal 1 cm + 1 ppm (RMS)
1 ppm means the error has a 1mm increase for every 1 km of movement from the aircraft.

GIMBAL

Stabilization 3-axis (tilt, roll, yaw)

Pitch -90° to +30°

Max Controllable Angular Speed 90°/s

Angular Vibration Range $\pm 0.02^\circ$

INFRARED

Obstacle Sensing Range **0.6-23 ft(0.2 - 7 m)**

FOV 70°(Horizontal)
±10°(Vertical)

Measuring Frequency 10 Hz

Operating Environment Surface with diffuse reflection material, and reflectivity > 8% (such as wall, trees, humans, etc.)

REMOTE CONTROLLER

Operating Frequency **2.400 GHz-2.483 GHz(Europe, Japan, Korea)**
5.725 GHz-5.850 GHz(United States, China)

Transmission Power (EIRP) 2.4 GHz
CE / MIC / KCC : < 20 dBm

5.8 GHz
SRRC / FCC : < 26 dBm

Max Transmission Distance FCC : 4.3 mi(7 km) ;
SRRC / CE / MIC / KCC : 3.1 mi(5 km) (Unobstructed, free of interference)

Power Consumption 16 W(typical value)

Display	5.5 inch screen, 1920×1080, 1000 cd/m², Android System Memory 4G RAM+16G ROM
----------------	--

Operating Range	Temperature 32° to 104° F (0° to 40°C)
------------------------	---

INTELLIGENT FLIGHT BATTERY CHARGING HUB(PHANTOM 4 CHARGING HUB)

Voltage	17.5 V
----------------	---------------

Operating Range	Temperature 41° to 104°F(5° to 40°C)
------------------------	---

Capacity	4920 mAh
-----------------	----------

Voltage	7.6 V
----------------	-------

Battery Type	LiPo 2S
---------------------	---------

Energy	37.39 Wh
---------------	----------

Operating Temperature	-4° to 104°F(-20° to 40°C)
------------------------------	----------------------------

AC POWER ADAPTER(PH4C160)

Voltage	17.4 V
----------------	---------------

Rated Power	160 W
--------------------	-------

(Phantom 4 RTK. 2019a)

GNSS RECEIVER

GNSS Frequency	Simultaneously	receive :
	GPS: L1 C/A, L2, L5	
	BEIDOU: B1, B2, B3	
	GLONASS: F1, F2	
	Galileo: E1, E5A, E5B	

Positioning Accuracy	Single Point
	Horizontal : 1.5 m(RMS)
	Vertical : 3.0 m(RMS)
	RTK
	Horizontal : 1 cm+ 1 ppm(RMS)
	Vertical : 2 cm+ 1 ppm(RMS)
	1 ppm: For every 1 km increase in distance, the accuracy will be 1 mm less. For example, the horizontal accuracy is 1.1 cm when the receiving end is 1 km away from the base station.

Positioning Update Rate	1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz and 20 Hz
-------------------------	-----------------------------------

Cold Start	< 45 s
------------	--------

Hot Start	< 10 s
-----------	--------

Recapture Time	< 1 s
----------------	-------

Initialization Reliability	> 99.9%
----------------------------	---------

Differential Data Format	RTCM 2.X/3.X
--------------------------	--------------

IMU

Features	Built-in high-precision 6-axis accelerometer
	D-RTK 2 movement monitoring
	Sloping measurements
	Electronic bubble level

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Dimensions(D-RTK 2 body with extension rod)	168 mm×168 mm×1708 mm
IP Rating	IP65

COMMUNICATION AND DATA STORAGE

Data Link	OcuSync, Wi-Fi, LAN, 4G
Operating Frequency	2.400 GHz to 2.483 GHz (China, United States, Australia, Europe, Japan, Korea) 5.725 GHz to 5.850 GHz (China, United States, Australia)

EIRP**OcuSync**

2.4 GHz

SRRC (Mainland China) / CE (Europe) / MIC (Japan) / KCC (Korea): < 20 dBm
FCC (United States, Australia) / NCC (Taiwan, China): < 26 dBm

5.8 GHz

FCC (United States, Australia) / SRRC (Mainland China) / NCC (Taiwan, China): < 26 dBm

Wi-Fi

2.4 GHz

SRRC (Mainland China) / CE (Europe) / MIC (Japan) / KCC (Korea): < 20 dBm
FCC (United States, Australia) / NCC (Taiwan, China): < 22 dBm

5.8 GHz

FCC (United States, Australia) / SRRC (Mainland China) / NCC (Taiwan, China): < 22 dBm

Communication Distance

OcuSync: 2 km (unobstructed and free of interference, when the distance from the D-RTK 2 antenna to the bottom of the tripod is 1.8 m, when the difference in height between the remote controller and D-RTK 2 is less than 2 m, and when the remote controller is 1.2 m from ground level)

Memory Capacity

16 GB

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Power Consumption **12 W****Power Supply** 16.5 to 58.8VDC

Battery	Type : Lithium-ion	battery
	Capacity: 4920	mAh
	Energy: 37.3 WH	

Run Time	WB37 battery : >2	h
	MG-12000P battery : >50 h	

OPERATING TEMPERATURE

Operating Temperature **4° to 131° F (-20° to 55° C)**

(D-RTK 2 High Precision GNSS Mobile Station. 2019b)

Basic Configuration

up to 32 GB RAM

CPU: Quad-core Intel Core i7 CPU, Socket LGA 1150 or 1155 (Kaby Lake, Skylake, Broadwell, Haswell, Ivy Bridge or Sandy Bridge)

Motherboard: Any LGA 1150 or 1155 model with 4 DDR3 slots and at least 1 PCI Express x16 slot

RAM: DDR3-1600, 4 x 4 GB (16 GB total) or 4 x 8 GB (32 GB total)

GPU: Nvidia GeForce GTX 980 or GeForce GTX 1080 (optional)

Advanced Configuration

up to 64 GB RAM

CPU: Octa-core or hexa-core Intel Core i7 CPU, Socket LGA 2011-v3 or 2011 (Broadwell-E, Haswell-E, Ivy Bridge-E or Sandy Bridge-E)

Motherboard: Any LGA 2011-v3 or 2011 model with 8 DDR4 or DDR3 slots and at least 1 PCI Express x16 slot

RAM: DDR4-2133 or DDR3-1600, 8 x 4 GB (32 GB total) or 8 x 8 GB (64 GB total)

GPU: Nvidia GeForce GTX 980 Ti, GeForce GTX 1080 or GeForce TITAN X

Extreme Configuration

more than 64 GB RAM

For processing of extremely large data sets a dual socket Intel Xeon Workstation can be used. (Downloads. 2019)

Operating System	Microsoft® Windows® 7 SP1 with Update KB4019990 (64-bit only) Microsoft Windows 8.1 with Update KB2919355 (64-bit only) Microsoft® Windows® 10 (64-bit only) (version 1803 or higher)					
Browser	Google Chrome (for AutoCAD web app)					
Processor	Minimum: 2.5–2.9 GHz or faster processor Recommended: 3+ GHz or faster processor					
Memory	16 GB					
Display Resolution	Conventional 1920 x 1080 with True Color High Resolution & 4K Displays: Resolutions up to 3840 x 2160 supported on Windows 10, 64 bit systems (with capable display card)					
Display Card	Minimum: 1 GB GPU with 29 GB/s Bandwidth and DirectX 11 compliant Recommended: 4 GB GPU with 106 GB/s Bandwidth and DirectX 11 compliant					
Disk Space	16 GB					
Pointing Device	MS-Mouse compliant					

File	Format	AutoCAD	.DWG	format	–	R2018
Changes		Civil	3D	Object	format	– R2018.2 ¹

¹ *New vertical curve profile entities (fixed vertical curve by high or low point) are not supported in Civil 3D 2018.*

.NET Framework Version 4.7

Additional Requirements for large datasets, point clouds, and 3D modeling

Memory 16 GB RAM or more

Disk Space 6 GB free hard disk available, not including installation requirements

Display Card 1920 x 1080 or greater True Color video display adapter; 128 MB VRAM or greater; Pixel Shader 3.0 or greater; Direct3D®-capable workstation class graphics card.

(System requirements for Autodesk Civil 3D 2020. 2019)

Recommended system specifications

Operating System	Microsoft®	Windows®	10	(64-bit)
	Microsoft	Windows	8	(64-bit);
	Microsoft Windows 7 Enterprise, Ultimate, or Professional (64-bit)			1
¹ Please note that your OS must be updated with <u>Service Pack 1 (SP1)</u> in order to install ReCap.				
CPU Type	2.0 gigahertz (GHz) or faster 64-bit (x64) processor			
Memory	8 GB or more RAM			
Display Resolution	1600 x 1050 or higher true color			
Display Card	OpenGL 3.3 capable workstation-class graphics card with 1 GB or greater graphics memory			
Browser	Google Chrome™ - latest version			

Minimum system specifications

Operating System	Microsoft	Windows	10	(64-bit)
	Microsoft	Windows	8	(64-bit);
	Microsoft Windows 7 Enterprise, Ultimate, or Professional (64-bit)			1
<p>¹ Please note that your OS must be updated with Service Pack 1 (SP1) in order to install ReCap.</p>				
CPU Type	2.0 GHz or faster 64-bit (x64) processor			
Memory	4 GB or more RAM			

Display Resolu- 1280 x 1024 with True color
tion

Display Card OpenGL 3.1 capable graphics device with 256 MB graphics
memory

(System requirements for Autodesk ReCap Pro 2019, ReCap Photo 2019, and
ReCap Pro app for iPad. 2019)